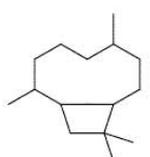


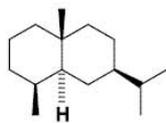
# WIKIREADER

Eine Artikelsammlung aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie

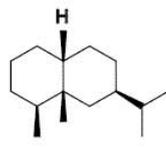
## Terpene



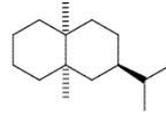
Caryophyllan



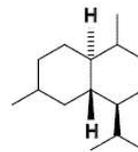
Eudesman



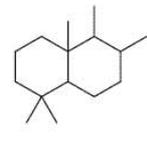
Eremophilan



Valeran



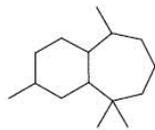
Cadlman



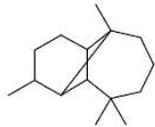
Driman



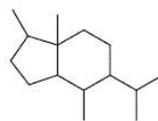
Guaian



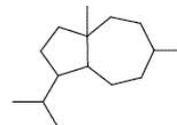
Hlmachalan



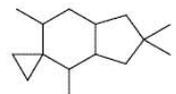
Longiplnan



Picrotoxan



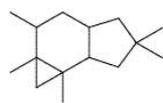
Daucan



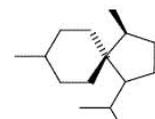
Illudan



Prezizaan



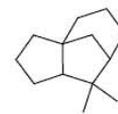
Marasman



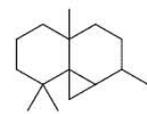
Acoran



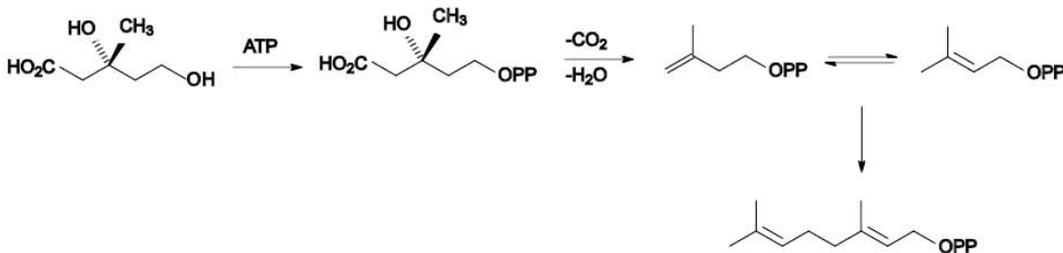
Chamgran



Cedran



Thujopsan



## Über Wikipedia

Die Wikipedia ist eine freie Enzyklopädie, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, jedem eine freie Wissensquelle zu bieten, an der er nicht nur passiv durch lesen teil haben kann, sondern auch aktiv als Autor mitwirken kann. Auf der Website <http://de.wikipedia.org> findet man nicht nur die aktuellen Artikel, sondern darf auch sofort und ohne eine Anmeldung mitschreiben. Auf diese außergewöhnliche Art sind seit 2001 in vier Jahren allein in der deutschsprachigen Wikipedia mehr als 200.000 Artikel entstanden.

## Über die Heftreihe „WikiReader“

WikiReader ist eine unregelmäßig erscheinende Heftreihe, welche ausgewählte Wikipedia-Artikel thematisch bündelt und in einer redaktionell aufbereiteten Form präsentiert. Die Auswahl der Artikel erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll gewissermaßen als „Schnappschuss“ des jeweiligen Themas dienen. Wir ermuntern unsere Leser ausdrücklich dazu, selbst weiter zu recherchieren, Artikel in der Wikipedia zu verbessern oder auch neue Artikel hinzuzufügen und damit Anregungen für zukünftige WikiReader-Ausgaben zu liefern.

## Über den WikiReader „Terpene“

Die vorliegende Ausgabe fasst die Artikel zusammen, die die Wikipedia über diese Gruppe von Stoffen bietet. Redaktionell bearbeitet wurden die Artikel von Claas Strecker (Benutzer Van Flamm). Bei der Realisierung half Achim Raschka. Eine Aktualisierung ist auf jeden Fall vorgesehen, ein genauer Zeitpunkt steht jedoch nicht fest.

## Rechtliches

Wie auch die Wikipedia selbst, steht dieses Heft unter der GNU-Lizenz für freie Dokumentation (GNU FDL), die auf Englisch im Anhang zu finden ist. Sie dürfen, nein sollen, den WikiReader frei kopieren im Rahmen dieser Lizenz.

## Impressum

**Herausgeber:** Die Mitarbeiter der deutschsprachigen Wikipedia

**Adresse der Wikipedia:** <http://de.wikipedia.org>

**Adresse dieses Heftes:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:WikiReader/Terpene>

**Redaktion:** Van Flamm

**Korrektoren:**

**Titelbild:** Van Flamm

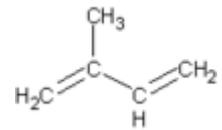
**Redaktionsschluss dieser Ausgabe:**

# Inhalt

Inhalt	3	Fenchon	29
Terpene	4	Geraniol	30
1,8-Cineol	14	Limonen	30
3-Caren	14	Linalool	31
Abietinsäure	15	Lycopin	32
Abscisinsäure	15	Menthan	33
Anethofuran	17	Menthol	33
Anethol	17	Menthon	36
Ascardiol	18	Myrcen	36
Bisabolol	18	Myrcenol	37
Borneol	19	Nerol	37
Cadinen	19	Ocimen	37
Camphen	19	P-Cymol	38
Campher	20	Phellandren	39
Cantharidin	23	Phytol	39
Carotine	24	Pinen	39
Carvon	25	Safrol	40
Caryophyllen	25	Santonin	40
Citral	26	Squalan	41
Citronellol	26	Terpineol	42
Coriandrinondiol	26	Thujon	42
Dihydrocarveol	27	Thymol	43
Estragol	27	Verbenol	44
Eugenol	28	Anhang: GNU Lizenz für Freie Dokumentation	45
Farnesol	28		
Fenchol	29		

# Terpene

Die **Terpene** sind eine stark heterogene und sehr große Gruppe von Stoffen, die sich formal von Isopren beziehungsweise Isopenten einheiten ableiten lassen. Charakteristisch für Terpene ist, dass ihre Kohlenstoffanzahl sich immer durch 5 teilen lässt (C<sub>5</sub>-Regel). Es sind über 8.000 Terpene und über 30.000 der nahe



Isopren

verwandten Terpenoide bekannt. Die meisten Terpene sind Naturstoffe, hauptsächlich pflanzlicher und seltener tierischer Herkunft. In der Natur kommen hauptsächlich Kohlenwasserstoff-, Alkohol-, Glycosid-, Ether-, Aldehyd-, Keton-, Carbonsäure- und Ester-Terpene vor, aber auch Vertreter weiterer Stoffgruppen sind unter den Terpenen zu finden. Die Terpene sind Hauptbestandteil der in Pflanzen produzierten ätherischen Öle. Aufgrund der Größe und Vielfältigkeit der Terpene gibt es mehrere Klassifikationen.

Die Terpene sind vielfach biologisch und pharmakologisch interessant, ihre biologische Funktion ist allerdings nur lückenhaft erforscht. Terpene können als umweltfreundliche Insektizide verwendet werden, indem sie als Pheromone Insekten in Fallen locken. Außerdem wirken viele antimikrobiell. Viele Terpene werden als Geruchs- oder Geschmacksstoffe in Parfümen und kosmetischen Produkten verwendet.

## Geschichte

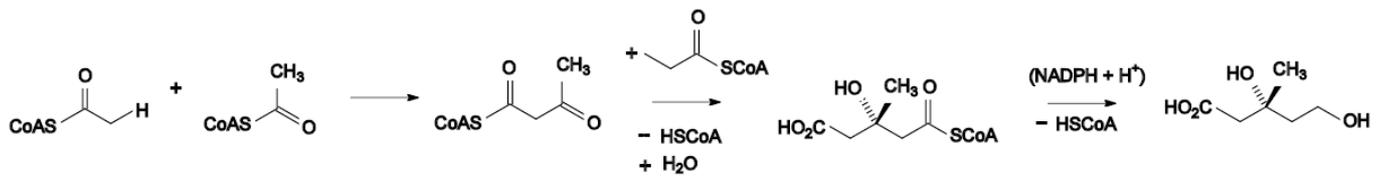
Die Terpene wurden von August Kekulé nach dem Baumharz Terpentin benannt, das neben Harzsäuren auch Kohlenwasserstoffe enthält. Ursprünglich wurden nur diese Terpene genannt, der Begriff wurde dann später erweitert und genauer spezifiziert. Wichtigste Forscher auf dem Gebiet der Terpene waren neben anderen vor allem Otto Wallach, der in diesem Bereich während seiner Arbeit bei August Kekulé forschte, und Leopold Ruzicka.

Früher wurden Terpene nach ihrer Herkunft benannt, was dazu führte, dass gleiche Verbindungen unterschiedlich Namen erhielten. Otto Wallach konnte 1884 zeigen, dass viele dieser Verbindungen tatsächlich identisch waren. 1892 konnte Wallach dann die ersten 9 Terpene eindeutig beschreiben. Von 1884 bis 1914 schrieb er dann an dem Buch *Terpene and Camphor*, das 180 Seiten umfasste. Er erkannte, dass die Terpene auf Isopreneinheiten aufbauen. Adolf von Baeyer forschte auf dem Gebiet der Strukturaufklärung der Terpene. Trotz der Forschungsarbeit waren lange Zeit nur sehr wenige, niedere Terpene eindeutig identifiziert, so konnte erst 1910 die erste korrekte Formel eines Sesquiterpens, des Santalens, durch Friedrich Wilhelm Semmler aufgestellt werden.

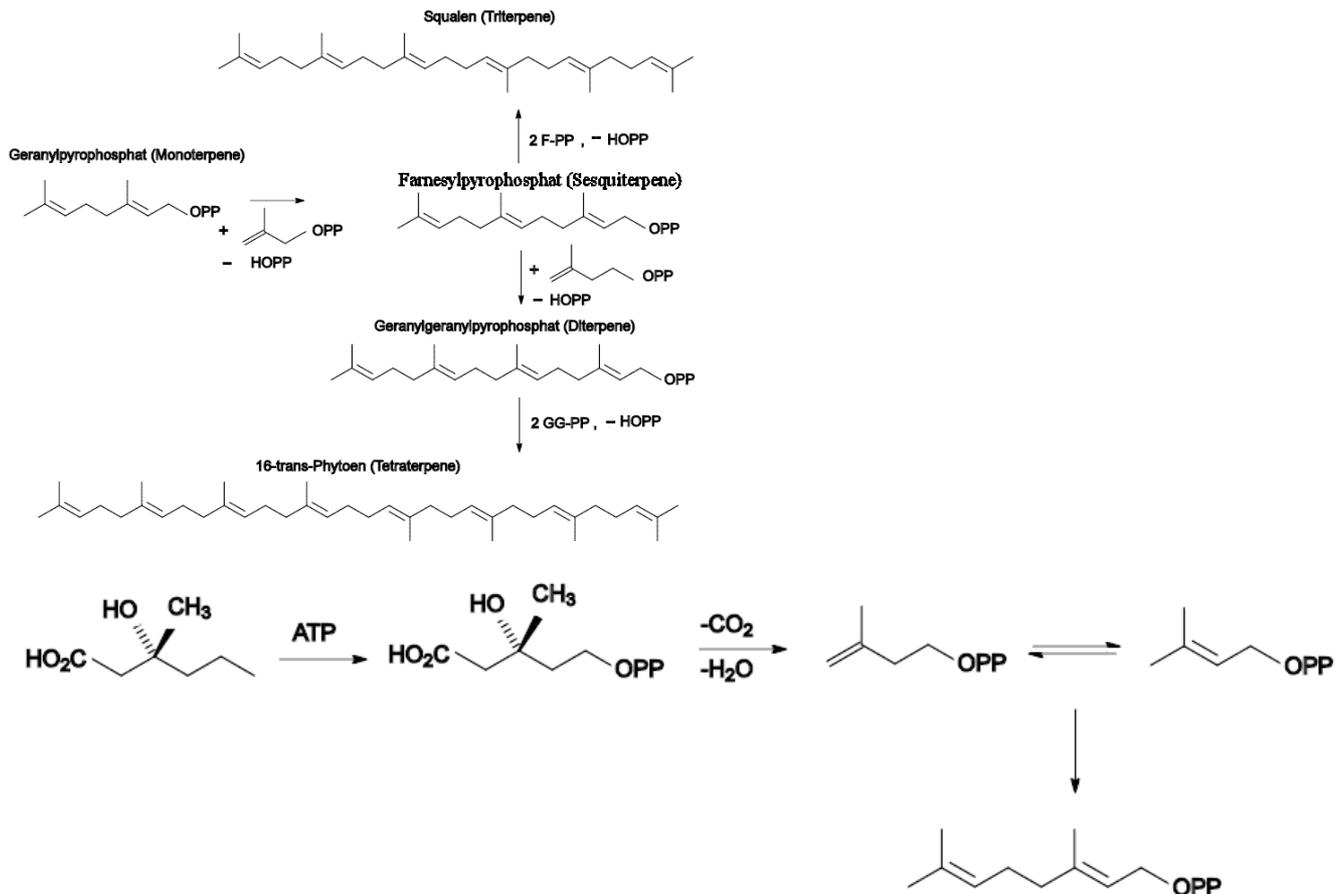
Die Biogenetische Isoprenregel wurde 1887 von Otto Wallach aufgestellt, 1922 formulierte Leopold Ruzicka dieses Kriterium unter dem Namen "Biogenetische Isoprenregel". Feodor Lynen und Konrad Bloch beschrieben 1964 die Biosynthese der Terpene, woraufhin Feodor Lynen 1965 das Buch *Der Weg der "aktivierten Essigsäure" zu den Terpenen und Fettsäuren* veröffentlichte.

## Biosynthese

Der Aufbau der Terpene in Organismen (Biosynthese) wurde erstmalig von Feodor Lynen und Konrad Bloch verstanden und beschrieben.



Die Biosynthese beginnt mit der aktivierten Essigsäure (Acetyl-CoA), aus dieser wird durch die biologische Claisen-Kondensation aktivierter Acetessigester (Acetoacetyl-CoA) dargestellt, der durch die biologische Aldol-Reaktion zu  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -methyl-glutaryl-CoA umgewandelt wird, welches dann zur aktivierten Mevalonsäure (Mevalonyl-CoA) reagiert.



**oben:** Von der Mevalonsäure geht die Biosynthese über Mevalonsäurediphosphat und Isopentenylpyrophosphat oder dessen Isomer  $\gamma,\gamma$ -Dimethylallylpyrophosphat bis zum Geranylpyrophosphat (GPP) weiter, welches das Grundgerüst der Monoterpene ist.

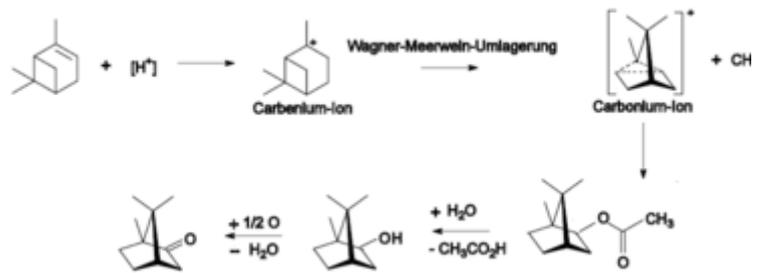
**unten:** GPP kann in Farnesylpyrophosphat (F-PP) umgewandelt werden, das das Grundgerüst der Sesquiterpene ist. Aus Farnesylpyrophosphat entsteht nun entweder das Squalen, das Grundgerüst der Triterpene, oder das Geranylgeranylpyrophosphat (GG-PP), das Grundgerüst der Diterpene. Das GG-PP kann wiederum in das 16-trans-Phytoen umgewandelt werden, das das Grundgerüst der Tetraterpene ist. Jedes Terpen kann so über Biosynthese dargestellt werden, indem die Schlüsselenzyme in der Terpenbiosynthese, die Terpensynthasen, diese Grundgerüste in die jeweiligen Terpene umwandeln.

## Eigenschaften

Die meisten Terpene sind schlecht wasserlöslich. Über andere physikalische oder chemische Eigenschaften lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen treffen. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften sind auch kein Kriterium von Naturstoffen für die Zugehörigkeit zu den Terpenen.

## Gewinnung

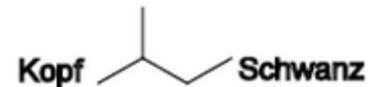
Terpene, vor allem Mono-, Sesqui- und Diterpene, können aus Pflanzen(teilen) oder ätherischen Ölen durch physikalische Methoden wie zum Beispiel Wasserdampfdestillation, Extraktion oder Chromatographie gewonnen werden, dabei liefern die jugendlichen Pflanzen typischerweise die Terpen-Kohlenwasserstoffe und die älteren Pflanzen die zunehmend sauerstoffhaltigen Derivate, wie Alkohole, Aldehyde und Ketone. Es gibt aber auch chemische Methoden zur großtechnischen Herstellung von Terpenen, die meist sehr spezifisch sind.



Ein Beispiel: Die Camphersynthese

## Klassifizierung

Die Terpene zählt man in der Systematik der organischen Chemie zu den Lipiden (sekundäre Naturstoffe), des Weiteren sind die Terpene eine Untergruppe der Terpenoide. Die Terpenoide sind Terpene bei denen in späteren Schritten der Biosynthese Kohlenstoffatome

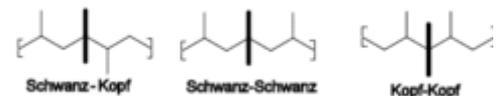


Kopf und Schwanz am Isopren-Molekül

ausgeschleußt werden, ihre Kohlenstoffanzahl ist folglich nicht mehr durch 5 teilbar. Die Zugehörigkeit zu den Terpenen begündet sich in einer gemeinsamen Biosynthese und der C<sub>5</sub>-Regel, nicht in gemeinsamen Eigenschaften. Der gemeinsame Baustein aller Terpene ist das Isopren.

Generell wird zwischen acyclischen, mono-, bicyclischen beziehungsweise tricyclischen Terpenen unterschieden, also Molekülen ohne beziehungsweise mit einem, zwei, oder drei Ringen. Feiner unterscheidet man die Terpene auch durch das Kohlenstoffgerüst auf dem sie aufbauen. Außerdem werden sie über ihre sekundäre Stoffgruppenzugehörigkeit unterschieden.

Man unterscheidet außerdem ob die Isopreneinheiten Kopf-Schwanz, Kopf-Kopf oder Schwanz-Schwanz verbunden sind, dies wird Biogenetische Isoprenregel genannt. Die Seite der



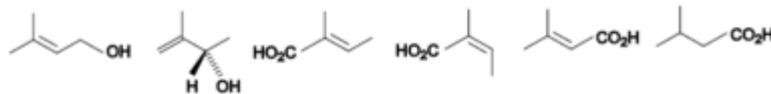
Isopreneinheit an der die Methylgruppe hängt wird Kopf genannt, die Seite an der die Propylgruppe hängt Schwanz.

biogenetische Isoprenregel. Der dicke Balken zeigt den Ort der Verknüpfung.

Die Terpene werden auch in Isopreneinheiten eingeteilt (jeweils immer 5 Kohlenstoffatome), die die gleiche Anzahl von Kohlenstoffatomen haben. Terpene mit 5 Kohlenstoffatomen nennt man Hemiterpene ( $C_5$ ), mit 10 Monoterpene ( $C_{10}$ ), mit 15 Sesquiterpene ( $C_{15}$ ), mit 20 Diterpene ( $C_{20}$ ), mit 25 Sesterterpene ( $C_{25}$ ), mit 30 Triterpene ( $C_{30}$ ) und mit 40 Tetraterpene ( $C_{40}$ ), Terpene mit mehr als 8 Isopreneinheiten, also mit mehr als 40 Kohlenstoffatomen nennt man Polyterpene (größer als  $C_{40}$ ).

## Hemiterpene

Bei den Hemiterpenen ist nur eine Isopreneinheit vorhanden. Es sind nur ungefähr 25 Hemiterpene bekannt, sie kommen in der Natur äußerst selten vor. Die wichtigsten Hemiterpene sind das Prenol, sowie die Carbonsäuren Tiglinsäure, Angelicasäure, Senciosäure und die Isovaleriansäure.



von links nach rechts: Prenol, 3-Methyl-3-buten-2-ol, Tiglinsäure, Angelicasäure, Senciosäure und Isovaleriansäure.

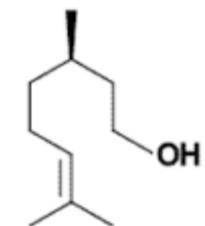
## Monoterpene

Es sind über 900 Monoterpene bekannt, sie leiten sich vom 2,6-Dimethyloctan ab und sind Kopf-Schwanz verknüpft. Tricyclische Monoterpene sind äußerst selten, ein Beispiel ist das Tricyclen, das als Racemat mit Camphen vorkommt, oder das Aphrodisiakum Cantharidin. Monoterpene sind zusammen mit Sesquiterpenen Hauptbestandteil von ätherischen Ölen. Monoterpene werden von Pflanzen in großen Mengen produziert, so kann sich zum Beispiel auf einem Quadratmeter mit Nadelstreu bedecktem Waldboden bis zu ein Liter Monoterpene finden, die Monoterpene tragen so durch ihr große Menge zur schnellen Verbreitung von Waldbränden bei. Es gibt über 2.000 Pflanzen aus 60 verschiedenen Familien, die in ihren Pflanzenteilen Monoterpene enthalten.

### Acyclische

Wichtige acyclische Kohlenwasserstoff-Monoterpene sind Myrcen, Ocimen und Cosmen. Myrcen ist Bestandteil ätherischer Öle, Ocimen kommt in der Blüte des Lavendels vor.

Linalool findet sich in Rosen und bis zu 50 Prozent im Lavendelöl. Geraniol und Nerol finden sich im Koriander und Palmarosaöl. Citronellol findet sich im Citronellöl, Myrcenol findet sich im Thymianöl. Auch Lavandulo findet sich im Lavendelöl, Ipsdienol ist Duftstoff in den Blüten von Orchideenarten. All diese Verbindungen sind wichtige acyclische Monoterpen-Alkohole.



Citronellol.

Furanoide acyclische Monoterpene sind zum Beispiel Perillen und Rosenfuran, Rosenfuran ist der Duftstoff des Rosenöls, Perillen kommt in ätherischen Ölen vor und ist ein Abwehrpheromon.

Rosenoxid und Neroloxid sind Duftstoffe des bulgarischen Rosenöls. Neral und Geranial bilden das Racemat Citral, das in Parfüm verarbeitet wird. Citronellal wird als Insektenabwehrmittel verwendet. Eine wichtige Carbonsäure ist die Geraniumsäure.

## Monocyclische

Die meisten monocyclischen Monoterpene weisen ein Cyclohexangerüst auf, diese leiten sich vom p-Menthan ab, es gibt jedoch auch mehrere Verbindungen mit Cyclopropan-, Cyclobutangerüst, wie die Chrysanthemumsäure Cinerin I und Cysanthemol, oder mit Cyclopentangerüst, wie zum Beispiel Grandisol und Junionon. Der Stoff mit dem kleinsten bekannten Geruchsschwellenwert, das Thioterpineol, findet sich hier.

Mit Cyclopentangerüst gibt es rund 200 Monoterpene sie werden in die Iridoide

und Secoiridoide unterteilt. Sie wurden zum ersten Mal in einer Ameisenart gefunden (*Iridomyrmex*), sie sind somit einige der wenigen Terpene nichtpflanzlicher Herkunft. Sie bestehen aus einem Grundgerüst, das einen Sechser- und einen Fünfering enthält (Cyclopentanpyrangerüst). Durch Ausschleusung von Kohlenstoffmolekülen aus dem Grundgerüst entstehen Terpenoide, die nicht mehr zu den Terpenen gehören. Iridoide sind zum Beispiel Bestandteil in Keuschlamm-Früchten, die bei Menstruationsbeschwerden eingesetzt werden und in der Teufelskralle, die bei Rheuma eingesetzt wird.

Die monocyclischen Monoterpene mit Cyclohexangerüst werden meist wiederum nach ihrer sekundären Stoffgruppenzugehörigkeit unterteilt. Die wichtigsten Kohlenwasserstoffe sind hier Menthan, Limonen, Phellandren, Terpinolen, Terpinen und Cymol. Menthan ist im Vergleich zu den anderen Monoterpene-Kohlenwasserstoffen in der Natur eher selten. Limonen tritt sehr häufig in den verschiedensten Pflanzen auf, Terpinolen und Terpinen sind Duftstoffe und Bestandteil ätherischer Öle, Terpinolen ist auch Alarmpheromon der Termiten. Phellandren findet sich im Kümmel, Fenchel und Eukalyptusöl. Cymol findet sich im Einfachen Bohnenkraut.

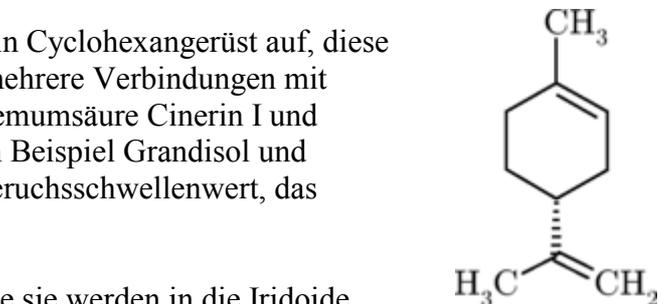
Menthol ist Hauptbestandteil des Pfefferminzöls, es ist ein Analgetikum und hat weitere medizinische Anwendungen. Auch Pulegol findet sich in Pfefferminzölen. Piperitol kommt in Eukalyptus- und Pfefferminzarten vor. Terpeneol ist ein Duftstoff. Carveol findet sich in Zitrusölen. Thymol findet sich in den ätherischen Ölen des Thymians und Oreganos. Dihydrocarveol kommt im Kümmel, Pfeffer, Sellerie und Minze vor. Anethol findet sich im Anis und Fenchel.

Menthon und Pulegon, sowie deren Isomere, treten wie das Menthol in Pfefferminzölen auf. Phellandral findet sich im Wasserfenchelöl. Carvon und Carvenon finden sich im Kümmel und Dill, Piperiton in Eukalyptusölen.

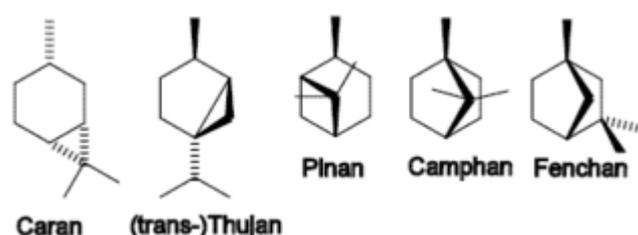
Ascardiol, sowie 1,4-Cineol und 1,8-Cineol sind Epoxide. 1,8-Cineol wirkt bakterizid und findet sich hauptsächlich in Eukalyptus und Lorbeer und zusammen mit dem 1,4-Cineol in Wacholder. Ascardiol findet sich in Gänsefuß-Arten

## Bicyclische

Die bicyclen Caran, Thujan, Pinan, Camphan und Fenchan, aber weiter gefasst auch Isobornynlan und Isocamphan, sind die wichtigsten



Limonen.



Stammverbindungen der bicyclischen Monoterpene.

Grundgerüste der bicyclischen Monoterpene.

3-Caren ist Hauptkomponente des Terpentin, des Öls des Schwarzen Pfeffers und kommt außerdem in Citrus-Bäumen, Tannen und Wacholder-Arten vor. Thujen kommt im Koriander und Dill und außerdem neben Sabinen in Ölen vor. Thujon ist psychoaktiv, es wirkt jedoch nicht halluzinogen, sondern ähnelt in seiner Wirkung eher dem THC, es kommt in Wermut vor, der zum Beispiel zu Absinth verarbeitet wird. Thujanol kommt im Lebensbaum-, Wacholder- und Artemisia-Arten vor. Carbonsäuren mit Caren- beziehungsweise Caregrundgerüst, wie zum Beispiel die Chaminsäure, kommen zum Beispiel in Scheinzypressen vor.

Pinen ist neben dem 3-Caren zweithäufigste Komponenten des Terpentin, auch Verbenol ist Bestandteil des Terpentin, es ist, zusammen mit Verbenon das in den Ölen des Rosmarins vorkommt, ein Sexualpheromon des Borkenkäfers. Pinocarvon kommt in Eukalyptusölen vor und ist Sexualpheromonen des Kiefernspaners.

Campher ist durchblutungsfördernd, schleimlösend und hat viele weitere medizinisch-interessante Eigenschaften, es kann aus dem Kampferbaum isoliert werden, auch Borneol findet sich in diesem Baum. Isoborneol kommt in vielen Korbbütlern vor.

Die Fenchane, besonders Fenchon und Fenchol und deren Diverate, treten in mehreren ätherischen Ölen auf. Fenchon und seine Diverate sind selten in ätherischen Ölen. Auch das Safrol ist ein bicyclisches Monoterpene.

Anethofuran ist ein bicyclisches Monoterpene mit Furankörper.

## Sesquiterpene

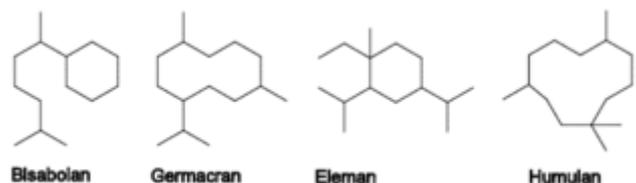
Es gibt mehr als 3000 Sesquiterpene, sie sind die größte Untergruppe der Terpene. Sesquiterpene leiten sich hauptsächlich vom Farnesan ab. Trotz der vielen Sesquiterpene sind nur rund 20 Sesquiterpene als Riech- und Aromastoffe wichtig.

### Acyclische

Farnesan ist die Stammverbindung der Sesquiterpene, es kommt zum Beispiel in Ölschiefer vor. Farnesol kommt im Rosen- und Jasminöl vor. Nerolidol kommt in Orangenblüten vor, Sinensal im Orangenöl. Furanoid acyclische Sesquiterpene sind Dendrolasin, Sesquirosefuran und Longifolin. Dendrolasin ist nicht nur pflanzlicher Herkunft, es kommt auch in Ameisen vor. Die Abscisinsäure reguliert das Wachstum von Pflanzen.

### Monocyclische

Die monocyclischen Sesquiterpene werden hauptsächlich in die Stammverbindungen Bisabolane, Germacrane, Elemene und Humulane unterteilt.

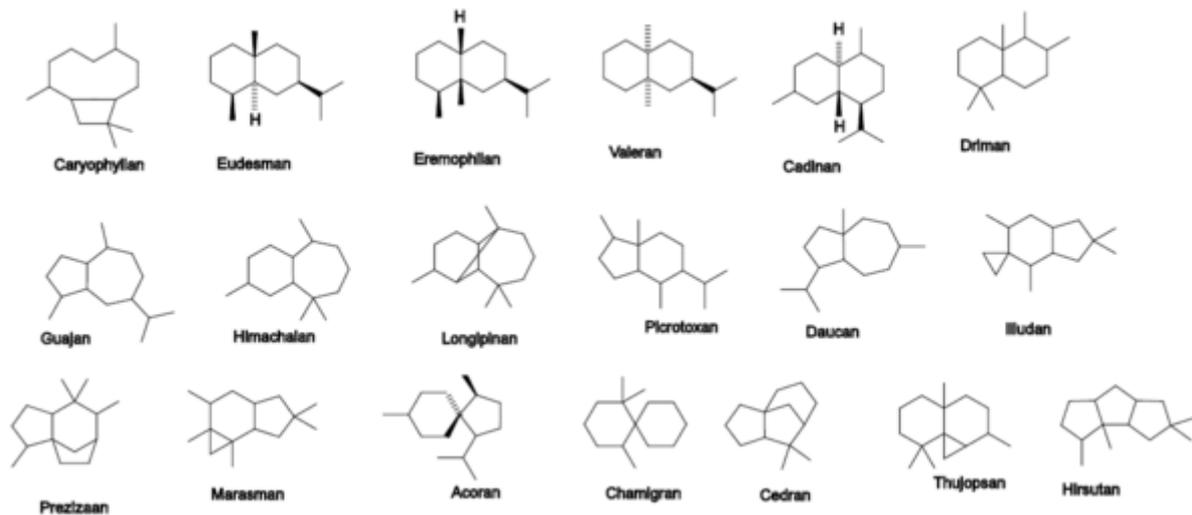


Über 100 Bisabolane kommen natürlich in Pflanzen vor. Zingiberen kommt im Ingweröl

Grundverbindungen der monocyclischen Sesquiterpene.

vor. Bisabolen findet sich in Scheinzypressen und Kiefernarten, Bisabolol wirkt entzündungshemmend und kommt im Öl der Kamille vor. Sesquisabinen kommt im Schwarzen Pfeffer, Sesquithujen im Ingwer vor. Die vom Germacran abgeleiteten Periplanone sind Sexualpheromone. Bicycloelemen und Elemol leiten sich vom Eleman ab, Elemol findet sich im Citronellöl, Bicycloelemen im Pfefferminzöl. Viele vom Humulan abgeleitete Terpene finden sich im Öl des Hopfens.

## Polycyclische



Einige Grundskette polycyclischer Sesquiterpene.

Die meisten der Sesquiterpene sind polycyclisch.

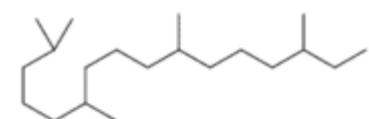
Unter den knapp 30 Caryophyllanen ist das wichtigste das Caryophyllen, es findet sich im Kümmel, Pfeffer und Gewürznelken. Von den Eudesmanen und Furanoeudesmanen sind ungefähr 450 bekannt. Selinen findet sich im Sellerie und Cannabis, Eudesmol in Eukalyptusarten, Costol in Costuswurzelnöl. Die Santonine wirken antihelminthisch. Ein wichtiges Furanoeudesman ist das Tubipofuran. Die etwa 150 bekannten Eremophilane und Valerane finden sich vor allem in höheren Pflanzen. Nootkaton sowie 11-Eremophilan-2,9-dion sind Geschmackstoffe im Grapefruitöl. Von den Cadinanen sind ungefähr 150 bekannt, Cadinadien findet sich im Hopfenöl, Muuroladien in Terpentinsorten, Cadinen im Kubebenpfeffer und Wacholder. Die Artemisiasäure wirkt antibakteriell. Guajane und Cycloguajane gibt es über 400. Guajadien findet sich im Tolubalsam. Eine Reihe von Pseudoguajanen, wie zum Beispiel die Ambrosiasäure findet sich in Ambrosiaarten. Viele der Himachalane finden sich im Zedernöl. Mehrere Daucane finden sich in der Wilden Möhre (*Daucus carota*), nachdem diese auch benannt sind. Das von Marasman abgeleitete Isovelleral wirkt antibiotisch, das vom Isolactaran abgeleitete Merulidial ist ein Metabolit des Pilzes *Merulius tremellosus*. Die Acorane und die 50 Chamigrane sind Spiroverbindungen, die Chamigrane finden sich in Algen. Das vom Cedran abgeleitete Credol ist Geruchsstoff des Zedernöls. Hirsutane sind häufig Metaboliten von Pilzen, ein Beispiel ist die Hirsutumsäure.

Auch gibt einige Gruppen polycyclischer Sesquiterpene, die nicht vom Farnesan abstammen.

## Diterpene

Es gibt rund 2700 Diterpene, die Diterpene leiten sich von Phytan ab.

### Acyclische

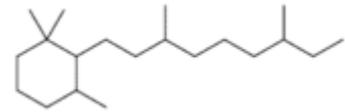


Phytan.

Phytan findet sich, zum Beispiel zusammen mit der Phytansäure im Ölschiefer, oder auch in der menschlichen Leber. Phytol ist ein Ester des Chlorophylls.

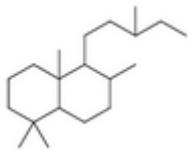
## Cyclophythane bis Tetracyclophtane

Die meisten Cyclophythane leiten sich vom 20,25-Cyclophytan ab, 1,6-Cyclophythane sind seltener.



10,16-Cyclphytan.

Retinal, Retinol, Axerophthen und Tretinoin sind Vertreter der Vitamin A-Reihe, Retinal ist mit dem Opsin in der Netzhaut des Auges zum Rhodopsin gebunden und dort für den Sehvorgang wichtig. Agelasin E und Agelasidin B wirken krampflösend und antibakteriell.

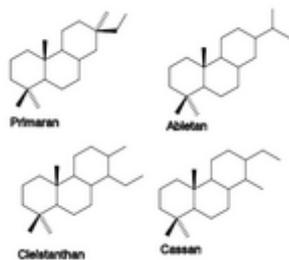


Labdan.

Die etwa 400 Bicyclophtane leiten sich vom Labdan ab, seltener vom 1,6-Cyclophytan abgeleiteten Haliman oder Clerodan. Pumiloxid und Abienol finden sich in Fichten. Labdanolsäure und Oxocativinsäure finden sich in Kieferngewächsen,

Sclareol im Salbeiarten, die Pinifolsäure in Nadel von Kieferngewächsen.

Wichtige Stammverbindungen der Tricyclophtane sind die Primarane, Cassane, Cleistanthane und Abietane. Die Primarane, wie zum Beispiel Podocarpinol, Podocarpinsäure und Nimbiol, finden sich hauptsächlich in europäischen Kiefern. Von den Cassanen, hauptsächlich von der Cassainsäure, leiten sich Ester-Alkaloide ab. Cleistanthane sind zum Beispiel Auricularsäure und Cleistanol. Abietane finden sich hauptsächlich in Nadelbäumen, wie zum Beispiel die Harzsäure Abietsäure, Abietenol oder Palustrinsäure.



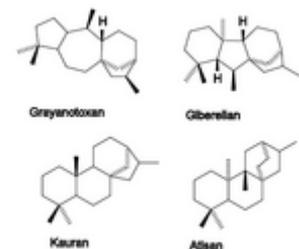
Wichtige Stammverbindungen der Tricyclophtane.

Das vom tricyclische Diterpenoid Baccatin III abgeleitete Terpen-Alkaloid Paclitaxel aus der Pazifischen Eibe wird auf Grund seiner Mitose hemmenden Wirkung auch als Zytostatikum in der Krebstherapie eingesetzt. Das ebenfalls tricyclische

Forskolin wird in der Biochemie als Aktivator der Adenylylcyclase eingesetzt.

Auch die Tetracyclophtane werden in

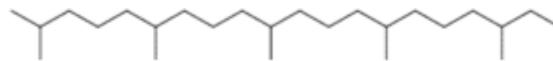
mehrere Stammgruppen unterteilt. Ein Kauran, 1,7,14-Trihydroxy-16-kauran-15-on, wirkt tumorhemmend. Die Atisane, wie zum Beispiel das Atisen, lassen sich in bestimmte Alkaloide umwandeln. Von den Gibberellanen abgeleitete Terpene wie Gibberellinsäure beeinflussen als Phytohormone das Pflanzenwachstum. Die Grayanotoxane, wie zum Beispiel das Leucothol C sind häufig toxisch und finden sich in vielen Blättern.



Wichtige Stammverbindungen der Tetracyclophtane

## Sesterterpene

Sesterterpene wurden erstmals 1965 aus Insektenwachs und niederen Pilzen isoliert. Es gibt ungefähr 150 bekannte Sesterterpene, davon haben 30 einen Furan-Körper, sie leiten sich von 3,7,11,15,19-Pentamethylcosan ab. Sesterterpene sind in der Natur eher selten, sie finden sich hauptsächlich in niederen Pflanzen wie zum Beispiel Pilzen oder in den Blättern der Kartoffel. Sesterterpene mit Furankörper können aus Schwämmen isoliert werden.

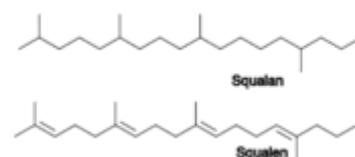


3,7,11,15,19-Pentamethylcosan.

Die wichtigsten acyclischen Sesterterpene sind das 3,7,11,15,19-Pentamethyl-2,6-icosadien-1-ol, Ircinin I und 8,9-Dehydroircinin I. Das Ircin I hat eine antibakterielle Wirkung und findet sich zum Beispiel in dem Schwamm *Ircinia oros*, das 8,9-Dehydroircinin I in *Cacospongia scalaris*. Die monocyclischen Sesterterpene finden sich in Schwämmen und Wachsen von Insekten von *Ceroplastes ceriferus*. Zu nennen ist das Cyclohexan-Sesterterpen, Neomanoalid, welches antibakteriell wirkt, Cericeran und Cerifeol 1. Bicyclische Sesterterpene sind zum Beispiel Dysideapalaunsäure, Salvisyriacolid und Salvisyriacolid-methylester. Das tricyclische Sesterterpen Cheilanthatriol findet sich in Farnen. Die tetracyclischen Sesterterpene finden sich in Schwämmen und bauen hauptsächlich auf dem Scalaran auf.

## Triterpene

Es gibt ungefähr 1700 Triterpene, die Triterpene leiten sich hauptsächlich vom Squalan, welches Schwanz-Schwanz verknüpft ist, und dem davon abgeleiteten Squalen ab. D-Vitamine und Gallensäuren leiten sich von den Triterpenen ab, der Tetracyclus des Gonans findet

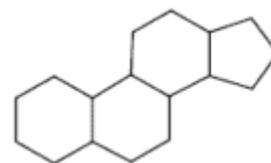


Squalan und Squalen.

sich abgeleitet bei den Steroiden. Acyclische Triterpene sind in der Natur relativ selten, vor allem tetracyclische und pentacyclische Triterpene sind in der Natur verbreitet.

## Tetracyclische

Die tetracyclischen Triterpene bauen auf dem Gonangerüst auf, das auch in den Steroiden zu finden ist, Stammverbindungen sind die Protostane und Fusidane, Dammarane, Apotirucallane, Tirucallane und Euphane,

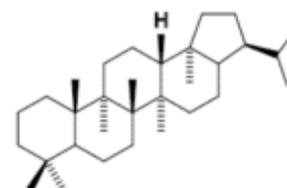


Gonan.

Lanostane, Cycloartane und Cucurbitane. Einige von den Fusidanen abgeleiteten Terpenoide, wie die Fusidinsäure greifen selektiv in den bakteriellen Stoffwechsel ein und werden daher als Antibiotika eingesetzt. Ein wichtiges Apotirucallan ist das Melianin A. Es gibt ungefähr 200 Lanostane, ein Beispiel ist das Lanosterol. Von den Cycloartanen gibt es rund 120, die Ananassäure findet sich in Ananasholz. Von den Cucurbitanen gibt es nur circa 40 natürliche, das Cucurbitacin F hemmt das Tumorstadium bei Menschen.

## Pentacyclische

Grundstruktur der pentacyclischen Triterpene ist das Hopan. Die Fernane, Adianane und Filicane finden sich hauptsächlich in Farnen, auch einige Gammacerane finden sich in Farnen. Zu den Adiananen und Filicanen gehört das zum Beispiel das Simiarenol und Filicenal, das im



Hopan.

Frauenhaarfarn vorkommt, ein Gammaceran ist das Ketohakonanol. Es existieren auch mehrere auf andere Art entstandene pentacyclische Triterpene wie die Stictane, Serratane und Iridale. Stictane finden sich in der Baumrinde vieler Bäume, das Serratane 14-Serratane findet sich in europäischen Waldfarnen. Ein Iridal ist das Ambrein, es findet sich in der Ambra des Pottwals. Die meisten Iridale finden sich jedoch hauptsächlich in Schwertlilien.

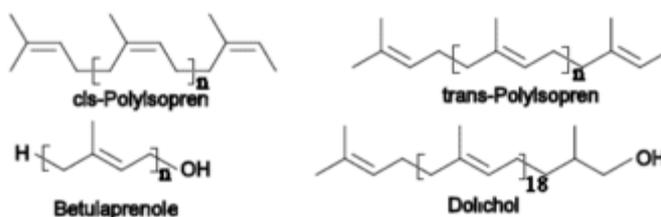
## Tetraterpene

Natürliche Tetraterpene sind die etwa 150 bekannten Carotinoide. Von den Tetraterpenen abgeleiteten Terpenoide sind die Apocarotenoide, Diapocarotenoide, Megastigmane, die C<sub>13</sub>-Isoprenoide sind.

## Polyterpene

Polyterpene, auch Polyprene, bestehen aus mehr als acht Isopreneinheiten.

Cis-Polyisopren kommt im Kautschuk vor, früher wurde der Naturkautschuk durch Vulkanisation zu Gummi verarbeitet. Trans-Polyisopren ist Hauptbestandteil von Guttapercha, der weitaus weniger bedeutend ist als das cis-Polyisopren. Guttapercha bildet sich beim Eintrocknen des Milchsafte der Bäume der *Palcaquium*-Art, die in den Tropen wachsen. Chicle ist ein Gemisch von trans- und cis-Polyisopren. Dolichol findet sich in endokrinen Organen, auch Betulaprenole sind Polyterpene.



Einige Polyterpene.

Prenylchoinone sind Terpenoide mit bis zu 10 Isopreneinheiten, unter ihnen finden sich Vitamin K<sub>1</sub> und <sub>2</sub>, Vitamin E, Plastochinon sowie die Ubichinone.

## Literatur

- Eberhard Breitmaier: *Terpene*. Teubner Verlag, Januar 1999, ISBN 3519035480
- Lutz Roth: *Terpene, Terpentinöl*. Ecomed Verlag, Landsberg, Juni 2001, ISBN 3609691409
- J. D. Conolly, R. A. Hill: *Dictionary of Terpenoids*. Chapman & Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras (1991)
- Feodor Lynen: *Der Weg der "aktivierten Essigsäure" zu den Terpenen und Fettsäuren*. *Angewandte Chemie* 77 (1965).

## Weblinks

- <http://www.organik.uni-erlangen.de/vostrowsky/natstoff/5naterpe.pdf> Vorkommen
- <http://www.oci.unizh.ch/edu/lectures/material/OCV/kap2.1.pdf> Biosynthese
- <http://www.healingpeople.com/ht/index.php?option=content&task=view&id=637&Itemid=136> Geschichte (Englisch)
- <http://www.bfa-ernaehrung.de/Bfe-Deutsch/Information/pflanzenstoffe/artikel8.pdf> Monoterpene

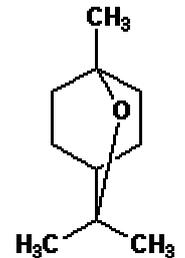
**Version:** 6. Feb 2005 um 21:47

**Autoren:** Achim Raschka, Aglarech, Aldipower, Chrisfrenzel, Code, Crux, Elfboi, Fedi, Forbfruit, Heintete, MAK, Nornen3, Superplus, Sven Jähnichen, Thomasgl, Van Flamm, Vigala Veia, Wolfy, Xvlun, Zoelomat

**Bilder:** MarkusZi, Klingon, Van Flamm

## 1,8-Cineol

**1,8-Cineol** (auch Eukalyptol, Limonenoxid, 1,8-Epoxy-p-menthan, 1,3,3-Trimethyl-2-oxabicyclo-[2.2.2]-octan) ist ein Monoterpen-Epoxid.



### Wirkungen

Cineol wirkt beim Menschen in der Lunge und den Nebenhöhlen schleimlösend und bakterizid. Außerdem hemmt Cineol auch bestimmte Neurotransmitter, die für die Verengung der Bronchien verantwortlich sind. Bei Asthmatikern kann durch die Gabe von 600 mg reinem Cineol täglich die Lungenfunktion bis zu 20 Prozent gesteigert werden.

### Nebenwirkungen

Außer leichter Stuhlverflüssigung und eventuell leichter Übelkeit sind bisher keine Nebenwirkungen bekannt. Beides tritt nur bei oraler Aufnahme auf.

### Einnahme

Die Einnahme erfolgt durch orale Zufuhr von Kapseln, die sich erst im Dünndarm auflösen, durch Inhalation oder durch Zubereitung entsprechender Pflanzen, die den Wirkstoff enthalten, als Tee.

### Pflanzen mit diesem Wirkstoff

1,8-Cineol ist stark vorhanden in Eukalyptus und Lorbeer. Weniger stark vorhanden ist es in Minze, Heilsalbei, Thymian, Basilikum und Teebaum vorhanden.

**Version:** 3. Feb 2005 um 00:40

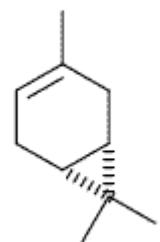
**Autoren:** Aldipower, Crux, Fire, Raymond, Van Flamm

**Bilder:** Aldipower

## 3-Caren

**3-Caren** ist eine farblose Flüssigkeit. Es ist ein monocyclisches Monoterpen-Kohlenwasserstoff mit der Summenformel  $C_{10}H_{16}$ . Die Flüssigkeit ist brennbar und hat einen angenehmen süßlichen Geruch. Die CAS-Nummer lautet 13466-78-9, das Molgewicht beträgt 136,24 g/mol.

Die Flüssigkeit siedet bei 45 °C. Caren ist Hauptbestandteil des Terpentin, außerdem ist es auch, mit circa 35 Prozent, Hauptbestandteil des Öls des Schwarzen Pfeffers. Es kommt auch in Citrus-Bäumen, Tannen und Wacholder-Arten vor.



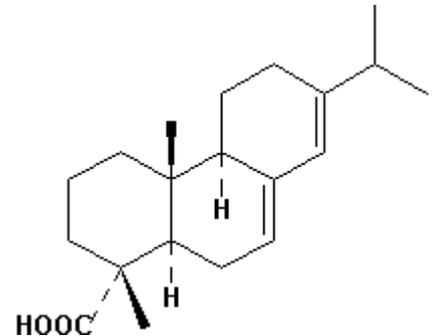
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:55

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Abietinsäure

**Abietinsäure** (auch Sylvinsäure oder Abieta-7,14-dien-19-carbonsäure) ist eine Harzsäure, das heißt Bestandteil des Baumharzes, und ist optisch aktiv. Abietinsäure ist eine tricyclische Diterpen-Carbonsäure mit der Summenformel  $C_{20}H_{30}O_2$ . Sie ist Hauptbestandteil des Coniferenharz, Derivate der Abietinsäure bilden die Grundsubstanz des Bernsteins. Die CAS-Nummer lautet 514-10-3. Es ist ein gelbes, hariges Pulver, das Kristalle oder Klumpen ausbildet.



## Eigenschaften

Es ist gut in Alkohol und Ether, aber schlecht in Wasser löslich. Der Feststoff schmilzt bei 172 bis 175 °C. Das Molgewicht beträgt 302,44 g/mol. Die Ester und Salze der Abietinsäure heißen Abietate.

## Synthese

Erhitzt man Kiefernharze in geschlossenen Kesseln auf über 100 °C, so destillieren Wasser und Terpeninöl über, während die im Kessel zurück bleibende Schmelze bei der Abkühlung zu einer glasartigen Masse - Kolophonium genannt - erstarrt, der Hauptbestandteil (bis zu 90 %, durchschnittlich aber nur um 43 %) die Abietinsäure mit verschiedenen Isomeren (Dextropimarsäure, Laevopimarsäure usw.) ist.

## Verwendung

Abietinsäure ist ein Lackbestandteil und wird als Zusatzstoff bei Milchsäure- und Buttersäure-Gärung (biotechnische Herstellung dieser Säuren) verwendet.

**Version:** 2. Feb 2005 um 04:19

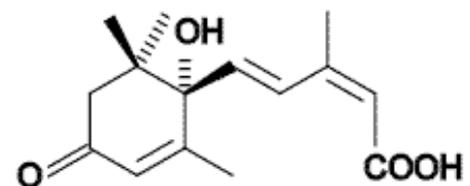
**Autoren:** Crux, Dick Tracy, Edgehold, Extrawurst, Fedi, Fristu, MAK, Manny, Martin-vogel, Schusch, Swing, Thomas Springer, Thomasgl, Van Flamm

**Bilder:** Extrawurst

## Abscisinsäure

**Abscisinsäure** oder Abszisinsäure (veraltet Dormin, (S)-5-(1-Hydroxy-2,6,6-trimethyl-4-oxo-1-cyclohexyl)-3-methyl cis,trans-Penta-2,4-diensäure) ist ein Phytohormon; chemisch zählt es zu den monocyclischen Sesquiterpenen. International

gebräuchlich ist die Abkürzung ABA von engl. *abscisic acid*.



(S)-(-)-Abscisinsäure

## Eigenschaften

Abscisinsäure bildet farblose Kristalle, die in organischen Lösungsmitteln gut und in Wasser schlecht löslich sind. Abscisinsäure ist sehr lichtempfindlich, durch Lichteinwirkung erfolgt eine photochemische Umlagerung zum unwirksamen trans-Isomer.

## Biosynthese

Die vor allem in den Chloroplasten der Blätter ablaufende Biosynthese folgt imer allgemeinen der andere Terpene. Die Inaktivierung der Abscisinsäure erfolgt durch oxidativen Abbau zu Phaseinsäure und Dihydro-Phaseinsäure. Neben freier Abscisinsäure finden sich im Pflanzengewebe auch deren Glukoseester und das O-Glukosid. Diese Konjugate der Abscisinsäure werden als Transport- und Speicherformen angesehen.

## Wirkungen der Abscisinsäure

Der Name Abscisinsäure beruht darauf, dass die Säure in hohen Konzentrationen in abgeworfenen Baumwollblättern gefunden wurde. Bei Applikation auf Blatt- und Fruchstiele bewirkt sie auch tatsächlich deren Abwurf (Abscission). Jedoch wird der Abwurf nicht direkt von der Abscisinsäure hervorgerufen, sondern durch eine von ihr hervorgerufene Ethenfreisetzung.

Abscisinsäure unterdrückt die Wirkung der anderen Phytohormone und ist also ein natürlicher Wachstumsinhibitor. Zusammen mit den wachstumsfördernden Phytohormonen, zum Beispiel den Auxinen, Gibberellinen und Cytokininen, reguliert Abscisinsäure Alterungsprozesse, Laubfall, Blütenbildung, Fruchtreife, Samen- und Knospenruhe, die stomatäre Transpiration und andere wichtige Entwicklungsprozesse der Pflanze. Abscisinsäure hat ein breites Wirkungsspektrum, dessen Wirkungsmechanismus noch ungeklärt ist. Der Gehalt an Abscisinsäure ist vom Pflanzenorgan und seinem Entwicklungszustand abhängig, beträgt aber im Durchschnitt etwa 100 µg je kg Frischmasse.

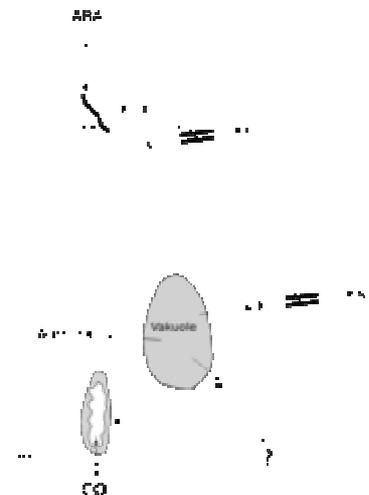
Die beiden primären Wirkungen der Abscisinsäure lassen sich in zwei Gruppen aufteilen:

1. Auslösung der Dormanz pflanzlicher Organe
2. Wirkungen auf den Wasserhaushalt von Pflanzen

## Wasserstress

Bei Wassermangel bewirkt sie einen Verschluss der Stomata, eine Erhöhung der hydraulischen Wasserleitfähigkeit der Wurzel und eine Förderung des Wurzelwachstums bei gleichzeitiger Hemmung des Sprosswachstums. Letzteres ist eine dauerhafte Anpassung an chronischen Wassermangel.

Bei Wasserstress wird Abscisinsäure in der Wurzel und auch im Blatt gebildet. Sie wird durch den Transpirationsstrom an die Schließzellen herangeführt. In diesen Zellen induziert sie die Freisetzung von Calcium-Ionen. Der gesteigerte Calciumspiegel bewirkt eine Hemmung der Protonen-ATPase, wodurch es zu einem Absinken des transmembranen  $H^+$ -Gradienten führt, was zu einer Depolarisation führt. Außerdem binden Calcium-Ionen an Chloridkanäle. Dadurch strömen Chloridionen passiv aus der



Schematische Darstellung der Wirkung auf Schließzellen bei Wasserstress

Zelle aus, was zu einer weiteren Depolarisation führt. Die exakten Einzelschritte sind allerdings noch Gegenstand der Forschung.

Diese Depolarisation hat zwei Konsequenzen. Zum einen schließen sich die Kaliumkanäle, die nur bei Hyperpolarisation geöffnet sind. Außerdem sind die nach außen gerichteten Kaliumkanäle besonders aktiv, was zu einem starken Ausstrom von Kaliumionen führt. Die Chlorid- und Malatanionen strömen daran gekoppelt nach, wodurch die Zelle osmotisch Wasser verliert und sich dadurch schließt. Die Ionen werden in benachbarten Zellen gespeichert.

Die Regulation der Stomataöffnung geschieht bereits nach einigen Minuten. Somit erlaubt sie eine präzise und reversible Steuerung des Wasserhaushaltes einer Pflanze oder sogar eines einzelnen Blattes. Die molekularen Wirkungsweisen von Abscisinsäure sind noch nicht detailliert bekannt. Jedoch wurden in welkenden Tomaten-Mutanten nur etwa 10% der üblichen Abscisinsäure-Konzentration gefunden. Nach exogener Zugabe funktionierten die Stomata jedoch wieder korrekt.

## Literatur

- Friedrich Kauder: *Biochemische Reaktionen des pflanzlichen Stoffwechsels auf Abscisinsäure und Änderungen der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration*. Cuvillier (1998), ISBN 3897124351

## Weblinks

- <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d31/31e.htm>

**Version:** 23. Jan 2005 um 14:46

**Autoren:** Fedi, Heinte, Kku, Lumbar, Nina, PatriceNeff, Pm, Van Flamm

**Bilder:** Lumbar, Van Flamm

## Anethofuran

**Anethofuran** (auch **Dillether**) ist ein Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt unter anderem in Kümmel und Dill vor.

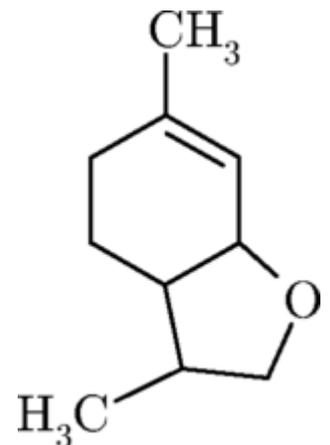
**Version:** 7. Feb 2005 um 17:28

**Autoren:** Fedi, Klingon, Necrophorus, Nyfferet, Peterlustig, Rdb, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

## Anethol

**Anethol** ist ein Bestandteil von ätherischen Ölen. Es ist ein cyclisches Monoterpen. Es kommt als trans-Anethol und cis-Anethol in Fenchel und Anis vor. Der Geruch von Anethol macht das klassische Anisaroma aus. Die Summenformel lautet C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O.

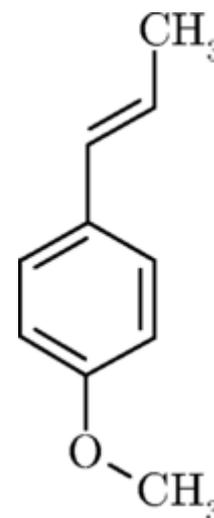


## Verwendung

Anethol kommt als Duft- und Aromastoff, vor allem für Seifen und Mundpflegemittel, zum Einsatz. Wichtig ist daneben die Verwendung in der Spirituosenfabrikation als Aromatiser für Liköre (Pernod, Anisette, Ouzo) und in der Lebensmitteltechnologie als Bestandteil von Aromen, hauptsächlich in Fruchtaromamischungen mit Geschmacksrichtung Himbeere und Erdbeere.

## Eigenschaften

In 1 l Ethanol sind 500 ml Anethol löslich, in Wasser ist nur sehr schlecht löslich. Der Flammpunkt liegt 90 °C. trans-Anethol ist ein Feststoff, er schmilzt bei 21,4 °C zu einer farblosen, öligen Flüssigkeit. Das cis-Anethol ist eine Flüssigkeit, sie erstarrt bei -22 °C.



**Version:** 7. Feb 2005 um 17:17

**Autoren:** Crux, Fedi, Klingon, Mowgli, Nyfferet, Rdb, Srbauer, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

## Ascardiol

Ascardiol ist eine grüngelbe Flüssigkeit mit campherartigem Geruch und bitter-brennendem Geschmack. Die Summenformel lautet  $C_{10}H_{16}O_2$ . Es handelt sich um ein monocyclisches Monoterpen-Peroxid. 1943 konnte es zum ersten Mal synthetisch hergestellt werden. Es wird aus Pinen und Sauerstoff bei der Anwesenheit von Chlorophyll synthetisiert. Früher wurde es als Anthelmintikum eingesetzt. Die CAS-Nummer lautet 512-85-6.

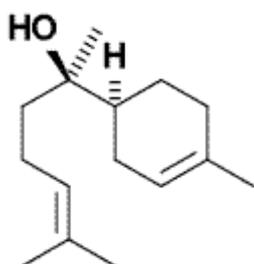
Ascardiol findet sich in Gänsefuß-Arten und dem Wurmkraut sowie in dem Öl der Boldoblätter. Die Dichte beträgt 1,01 g/cm<sup>3</sup>. Die Molmasse beträgt 168,23 g/mol. Ascardiol ist instabil. Die Flüssigkeit kondensiert bei -3 °C. Der Brechungsindex der Flüssigkeit beträgt 1,47.

**Version:** 23. Jan 2005 um 18:29

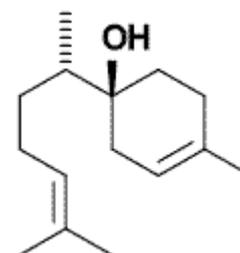
**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** /

## Bisabolol



**Bisabolol** ist eine klare, farblose Flüssigkeit mit schwachem blumig-süßlichen Geruch. Die Summenformel lautet  $C_{15}H_{26}O$ . Es ist ein monocyclischer Sesquiterpenalkohol, es kommt als alpha- und beta-Bisabolol vor, die wiederum in einer links- und rechtsdrehenden Form existieren. Bisabolol wirkt entzündungshemmend, es wird als Hautpflegemittel in Kosmetika verwendet. Es kommt im ätherischen Öl der



Kamille vor, außerdem sind alpha- sowie beta-Bisabolol Aromastoff des Bergamottöls. Die Molmasse ist 222,36 g/mol. Die Dichte des alpha-Bisabolols beträgt 0,92 g/cm<sup>3</sup>. In Wasser und Glycerin ist es nahezu unlöslich, in Ethanol ist es gut löslich.

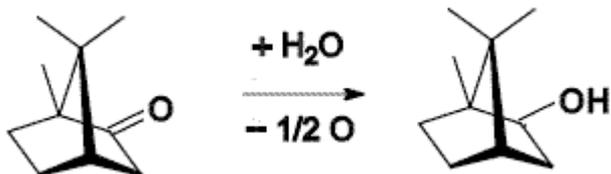
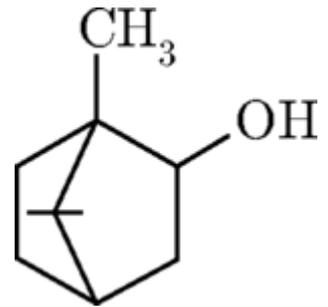
**Version:** 28. Dez 2004 um 11:50

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Borneol

**Borneol** ist ein acyclisches Monoterpen-Alkohol und Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt unter anderem in Koriander, Salbei, Muskat und Rosmarin vor. Borneol ist ein farbloses Pulver, die Summenformel lautet C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O. Es kann durch Reduktion von Campher hergestellt werden. Die CAS-Nummer lautet 507-70-0. Das Pulver schmilzt bei 207 °C und siedet bei 210 °C.



Campher wird zum Borneol reduziert.

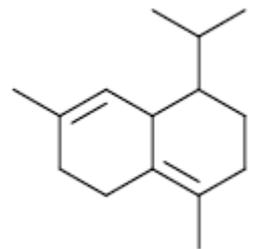
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:52

**Autoren:** BLueFiSH.as, DasBee, Franz Xaver, Klingon, Nyfferet, Van Flamm

**Bilder:** Klingon, Van Flamm

## Cadinen

**Cadinen** ist eine gelblich, bis leicht grünliche Flüssigkeit mit der Summenformel C<sub>15</sub>H<sub>24</sub> und einem holzigem Geruch. Es handelt sich um ein Sesquiterpen-Kohlenwasserstoff. Die CAS-Nummer lautet 29350-73-0. Cadinen kommt im Wacholder und Kubebenpfeffer vor. Die Dichte beträgt 0,91 g/cm<sup>3</sup>. In Wasser ist es unlöslich. Es wird als Geschmacks- und Geruchstoff verwendet. Cadinen reizt die Augen.



**Version:** 23. Jan 2005 um 15:02

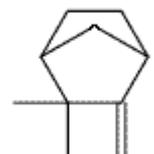
**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Camphen

**Camphen** (CAS-Nummer 79-92-5) ist ein weißer, wachsartiger Feststoff. Der Feststoff gehört zu den Terpen-Kohlenwasserstoffen, die Summenformel ist C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>. Es kommt als Racemat der zwei Enantiomere d- und l-Camphen vor.

Die Feststoff schmilzt bei 50 °C zu einer farblosen Flüssigkeit. In Wasser ist Camphen nahezu unlöslich, in Cyclohexan, Alkohol und Chloroform ist es gut löslich. Die Dichte



des Camphens liegt bei um die  $0,90 \text{ g/cm}^3$ . Der Brechungsindex der Flüssigkeit beträgt 1,45, es bricht das Licht also stärker als Wasser. Der Flammpunkt des Racemats liegt bei  $39 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Camphen ist Zwischenprodukt für die Synthese von Geschmacks- und Geruchsstoffen. Außerdem wird es zur Herstellung von Kampfer und Toxaphen benötigt.

**Version:** 23. Jan 2005 um 14:46

**Autoren:** Van Flamm

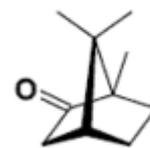
**Bilder:** Van Flamm

## Campher

**Campher** (auch Kampfer, nach der IUPAC-Nomenklatur 1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-on) ist ein weißes oder farbloses Pulver. Es ist ein bicyclisches-Monoterpen-Keton und fällt dort in die Gruppe der Camphane, die Summenformel lautet  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ . Die CAS-Nummer lautet 76-22-2. Es gibt zwei

Enantiomere des Camphers, (+)-Campher und (-)-Campher beziehungsweise d- und l-

Campher.



(+)-Campher



(-)-Campher

## Vorkommen und Gewinnung

Campher findet sich hauptsächlich in den ätherischen Ölen von Lorbeergewächsen, Korbblütengewächsen und Lippenblütlern. Besonders in der Rinde des Campherbaums, beziehungsweise in dem Harz, ein immergrüner Baum der hauptsächlich in Asien wächst, ist es zu finden. Es kann synthetisch hergestellt werden, aber auch durch Wasserdampfdestillation und Kristallisation aus zerkleinerten Pflanzenteilen gewonnen werden. Natürliche extrahiertes Campher ist immer rechtsdrehend ((+)-Campher). Der natürlich gewonnene Campher wurde früher auch als Japankampfer bezeichnet.

## Eigenschaften

Campher ist ein farbloses oder weißes transparentes Pulver aus wachsweißen Kristallen, meist jedoch krümelig und brockig zäh, dieses ist nur wenig pulverisierbar. In Ethanol kann das Kristallsystem zu einem rhomboedrischen umkristalliniert werden. Durch Abschrecken geschmolzenen Camphers bilden sich kubische Kristalle. Es hat einen charakteristischen, starken, wohlriechenden, aromatisch-holzigen, eukalyptusartigen Geruch. Der Geschmack ist scharf und bitter, auch leicht kühlend wie das Menthol. Es schmilzt bei  $177 \text{ }^\circ\text{C}$  und siedet bei  $207 \text{ }^\circ\text{C}$ . In Wasser ist das Pulver unlöslich, nur 1,2 g sind in einem Liter Wasser löslich; in Ethanol hingegen ist es gut löslich. Es bildet mit diesem farblose Lösungen, aus denen sich jedoch, wenn Wasser hinzugegeben wird, das Campher wieder abscheidet. Die Dichte beträgt  $0,96 \text{ g/cm}^3$ . Campher ist leicht flüchtig, schon bei Zimmertemperatur sublimierend; der Dampfdruck beträgt bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  20 Pascal. Campher verbrennt mit rußender Flamme. Der Flammpunkt liegt bei  $74 \text{ }^\circ\text{C}$ , die Zündtemperatur bei  $466 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zwischen einem Luftvolumenanteil von 0,6 und 3,5 Prozent bildet es explosive Gemische. Beim Campher tritt das Phänomen der molaren Schmelzpunkterniedrigung auf: Die Gefrierpunkterniedrigung beträgt  $39,7 \text{ }^\circ\text{C}\cdot(\text{kg/mol})$ . So verflüssigt sich Campher bereits, wenn es in Kontakt mit Menthol, Naphtol oder Chloralhydrat kommt. Der spezifische Drehwinkel beträgt  $+ 44^\circ$ .

## Wirkung, Sicherheit und Metabolismus



Campher ist entzündlich und gesundheitsschädlich.

Es wirkt auf das Zentrale Nervensystem und die Niere, in höheren Dosen auch auf das Atemzentrum. Campher ist durchblutungsfördernd und schleimlösend. Es führt aber auch zu



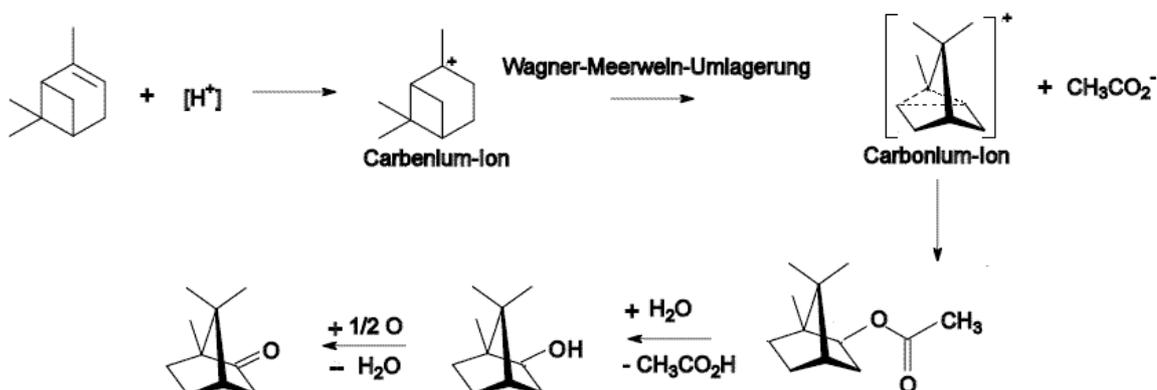
F Übelkeit, Angst, Atemnot und Aufgeregtheit. In höherer Dosis eingenommen führt es zu Verwirrheitszuständen, epileptischen Anfällen und akuten Störungen des Kurzzeitgedächtnisses. Die tödliche Dosis für einen Erwachsenen liegt bei circa 20 g. Der Metabolismus geht zunächst über vom Campher abgeleiteten Alkoholen wie dem 2- beziehungsweise 3-Borneol, welche in der Leber zu der Glucosiduronsäure des Borneols, die Metaboliten werden schließlich über den Harn ausgeschieden. Campher ist schwach wassergefährdend (WGK 1). Der MAK-Wert für das Campher beträgt 13 mg/m<sup>3</sup>. Die R-Sätze 11-22-36 und die S-Sätze 2-24/25-26-36 sind für Campher festgelegt.

## Verwendung

Campher wird in Feuerwerkskörpern und Mottenabwehrmitteln verwendet. In der chemischen Industrie wird es zur Herstellung des Cymols verwendet. Außerdem wird es für die Celluloidproduktion und als Weichmacher für Celluloseester verwendet. In geringen Mengen wird es in Kosmetik- und Medizinpräparaten benutzt, zum Beispiel bei Muskelzerrungen, Rheuma oder Neuralgien, früher wurde es auch als Analeptikum verwendet, heute jedoch seltener als wegen den Wirkungen auf das Herz und den Kreislauf. Seltene Fälle der Verwendung von Campher als Rauschmittel sind bekannt.

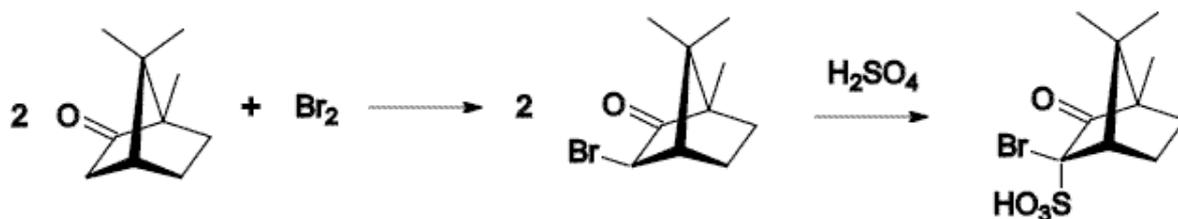
## Herstellung

Heutzutage wird Campher technisch von  $\alpha$ -Pinen aus synthetisiert. Hierbei kann je nach Wunsch (+)-Campher oder (-)-Campher gewonnen werden, je nachdem, ob man bei der Synthese (+)- $\alpha$ -Pinen oder (-)- $\alpha$ -Pinen einsetzt, während bei der Destillation aus dem Campherbaum nur (+)-Campher gewonnen werden kann.

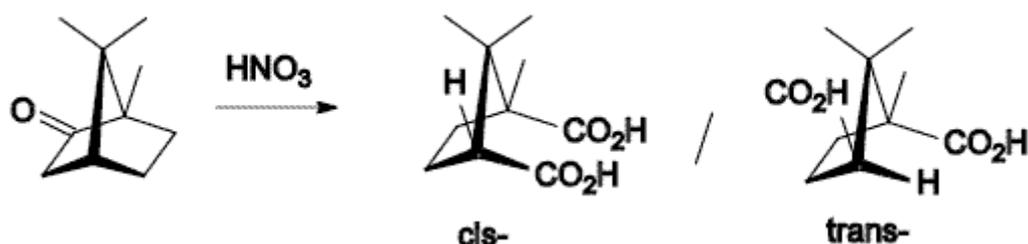


$\alpha$ -Pinen wird protoniert, durch Wagner-Meerwein-Umlagerung wird es zum Carboniumion umgelagert. Dieses reagiert mit Natriumacetat zu Isoborneol, dieses wird zum Isoborneol umgewandelt, dies wird mit Oxidationsmittel zum Campher oxidiert.

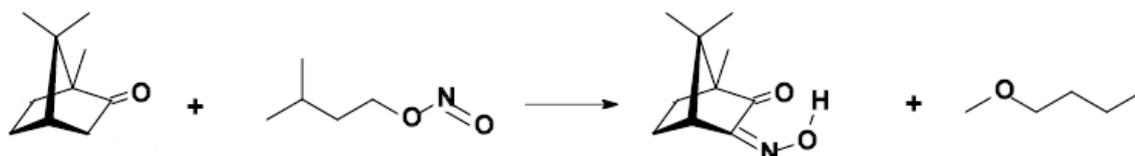
## Reaktionen



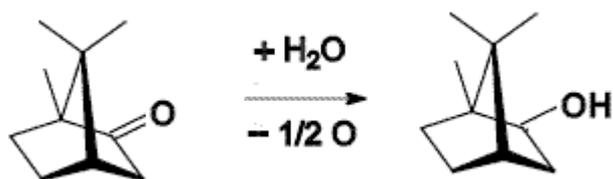
Mit Brom reagiert Campher zu 3-Bromincampher, das mit Schwefelsäure zu 3-Bromcampher-sulfonsäure umgesetzt werden kann. Die Sulfonierung kann auch direkt mit dem Campher unter Anwesenheit von Schwefelsäure und Acetatanhydrid stattfinden, wobei Campher-10-sulfonsäure entsteht.



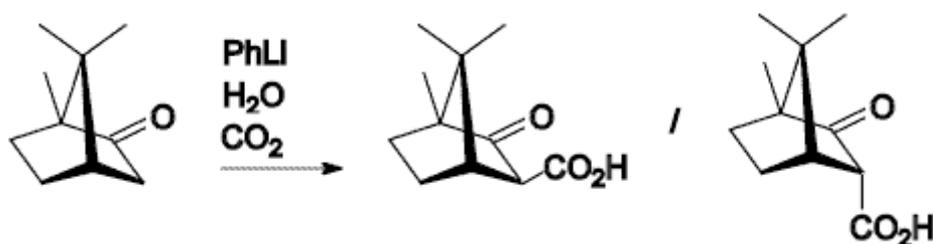
Unter Einwirkung von Salpetersäure reagiert Campher, durch oxidative Ringöffnung, zu cis- beziehungsweise trans-Camphersäure.



Mit Isoamylnitrit reagiert es zu Pentanon und Isonitrosocampher, Isonitrosocampher kann mit Wasser zu Campherchinon hydratisiert werden.



Außerdem kann bei der Reduktion des Campher die Keton-Gruppe durch eine Alkohol-Gruppe abgespalten werden, wodurch Borneol, beziehungsweise hier im Bild Isoborneol, entsteht.



Unter Anwesenheit von Lithiumorganyl, Wasser und Kohlendioxid reagiert Campher zu exo- beziehungsweise endo-Camphercarbonsäure.

## Weblinks

- <http://www.omikron-online.de/cyberchem/aroinfo/0145-aro.htm>
- <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C76222&Units=SI&Mask=F>
- <http://www.camphor.com.tw/e-1.htm>
- <http://www.inchem.org/documents/pims/pharm/camphor.htm>

**Version:** 7. Feb 2005 um 07:07

**Autoren:** Brummbart, Kku, Maximus Rex, Tzzzpff, Van Flamm, Vic Fontaine, Zwobot

**Bilder:** (Dbenzhuser, BirgitLachner, Phrood), (BirgitLachner, Paddy, Zinnmann, Phrood), Van Flamm

## Cantharidin

**Cantharidin** oder **Kanthariden** (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>4</sub>) ist eine chemische Verbindung, die bei verschiedenen Käferarten vorkommt und benannt wurde nach der Gattung *Cantharis* (heute teilweise *Lytta*), bei der sie erstmals gefunden wurde. Es handelt sich dabei um eine Benzofuran-Verbindung, der eine Wirkung als Aphrodisiakum (Spanische Fliege) nachgesagt wird, die jedoch vor allem ein starkes Reizgift darstellt. Es handelt sich um ein Monoterpen.

### Die biologische Rolle von Cantharidin

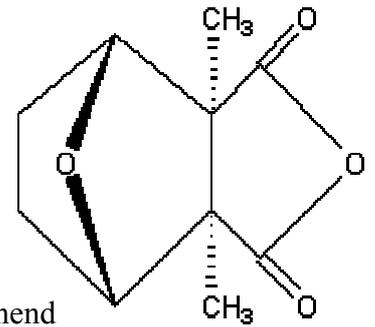
Cantharidin ist in der Hämolymphe einer Reihe von Käferarten erhalten, vor allem bei den Ölkäfern (Meloidae), auch Blasenkäfer nach der Wirkung des Cantharidin auf die menschliche Haut genannt, und den Feuerkäfern (Pyrochroidae), außerdem bei den Vertretern der Familie der Scheinbockkäfer (Oedemeridae). Die biologische Bedeutung ist dabei durchaus unterschiedlich. So setzen die Ölkäfer den Giftstoff vor allem als Wehrsekret ein, das bei einer potentiellen Bedrohung durch Auspressen an den Beimgelenken tropfenförmig ausgepresst wird. Bei den Feuerkäfern stellt Cantharidin daneben vor allem ein Lockpheromon dar, welches die Männchen attraktiv für die Weibchen macht. Auf die meisten anderen Insekten wirkt Cantharidin dagegen abschreckend, nur die Blumenkäfer (Anthicidae) werden ebenfalls angelockt, da sie auf diese Weise die Leichen von Ölkäfern finden können. Auch bei ihnen spielt Cantharidin eine Rolle bei der Paarung, die Weibchen überprüfen vor der Paarung den Cantharidgehalt der Vorratsbehälter unter den Flügeln der Männchen und machen davon ihre Paarungswilligkeit abhängig. Die Käfer können den Stoff allerdings nicht selbst produzieren, sondern entnehmen ihn den Ölkäfern. Ebenfalls attraktiv wirkt Cantharidin auch auf einige Arten der Gnitzen (Ceratopogonida), einer Mückengruppe, die Cantharidinhaltige Käferarten besaugen.

Cantharidin ist ein starkes Reiz- und Nervengift, wodurch es als Wehrsekret sehr effektiv ist. Auf der Haut und vor allem auf den Schleimhäuten übt es eine starke Reizwirkung aus. Beim Menschen und bei anderen Wirbeltieren löst es die Bildung von Blasen und teilweise tiefen Nekrosen aus, außerdem führt es zu Entzündungen und vor allem zu starken Nierenschädigungen. Letztere treten vor allem bei Missbrauch etwa bei übermäßiger Einnahme als Aphrodisiakum, auf. Anwendung findet Cantharidin durch diese Wirkungen vor allem bei der Hautreiztherapie sowie als Mittel zur Entfernung von Warzen, häufig in Form eines transdermalen Pflasters (**Cantharidinpflaster**). Aufgrund der Wirkung bei Überdosierung sollte es nur nach Absprache mit einem Arzt angewendet werden.

Die für den Menschen tödliche Cantharidindosis liegt zwischen 0,03 Gramm und 0,5 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht. Im antiken Griechenland wurde das Gift neben dem Schierlingsbecher zur Vollstreckung von Todesurteilen verwendet.

## Die Chemie des Cantharidin

Bei Cantharidin handelt es sich um ein farbloses, kristallines Monoterpen, welches aus dem Sesquiterpen Farnesol durch Abspaltung von fünf Kohlenstoffatomen entsteht. Es hat eine Schmelztemperatur von 218 ° Celsius und ist löslich in Wasser, Chloroform, Aceton und Alkohol. Die Molare Masse beträgt 196,203 g/mol.



Cantharidin hat eine hohe Affinität zur Bindung an Proteine, welche entsprechend als Cantharidin bindende Proteine (CBP) bezeichnet werden. Die gleiche Eigenschaft besitzen auch einige analoge Moleküle wie etwa das Herbizid Endothall. Das Protein besteht aus einer alpha-Kette und einer kürzeren beta-Kette und wird entsprechend als Heterodimer bezeichnet. Dieses CDB ist offensichtlich identisch mit einer Protein-Phosphatase names 2A, welche als Enzym bei Pflanzen und Tieren vorkommt. Die verschiedenen Giftwirkungen werden damit wahrscheinlich durch eine Blockierung dieses Enzyms bei seiner Funktion bei der Phosphorylierung und Dephosphorylierung verursacht.

## Cantharidin als Aphrodisiakum

Cantharidin gilt als potenzsteigerndes Mittel, welches beim Mann eine langanhaltende Erektion herbeiführen soll. Die Wirkung ist umstritten, vor allem, da diese Form der Erektion sehr schmerzhaft sein kann und die Dosierung sehr schwierig ist, andererseits eine schmerzhaft Dauererektion zu bleibender Impotenz führen kann. Erreicht werden soll sie durch Einreiben der Genitalien oder Einnahme von aufgelöstem Cantharidin (meistens in Form von zermahlene Käfern der Art *Lytta vesicatoria*, bekannt als Spanische Fliege). Nach Kriegsberichten soll diese Wirkung vor allem den Truppen Napoleons beim Ägyptenfeldzug zum Verhängnis geworden sein, die in den Sümpfen des ägyptischen Nildeltas Frösche gefangen und verspeist haben. Diese ernährten sich vor allem von den besagten Käfern und lagerten das Cantharidin ein, ohne selbst Schaden daran zu nehmen. Erste Erwähnungen der Potenzwirkung von Cantharidin stammen aus der Antike. Die ersten Beschreibungen des Gebrauchs in der Medizin stammen aus dem Altertum, z.B. vom Hippokrates und von Plinius. Über Livia Drusilla, die Frau des späteren römischen Kaisers Augustus wird berichtet, daß sie die Droge dem Essen der anderen Mitglieder der kaiserlichen Familie zufügte, um sie zu sexuellen Ausschweifungen zu animieren, die dann später gegen diese verwendet werden konnten.

**Version:** 23. Jan 2005 um 14:54

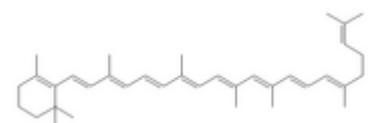
**Autoren:** J.Rohrer, Necrophorus, RobertLechner, Robodoc, Tamino, Tillwe, Van Flamm, Wiegels, Zwo bot

**Bilder:** Magnus Manske

## Carotine

**Carotine** (von lateinisch *carota* = *Karott*) sind zu den Carotinoiden gehörige Naturfarbstoffe, die in vielen Pflanzen vorkommen, besonders in

den farbigen Früchten, Wurzeln und Blättern. Sie zählen zu den sekundären Pflanzenstoffen. Chemisch handelt es sich dabei um Tetraterpene, bei denen kein bis zwei Ionon-Ringe durch eine Kohlenstoffkette mit 9 Doppelbindungen verbunden sind.



Strukturformel von  $\gamma$ -Carotin

Dazu gehören: Carotin (Farbe der Mohrrübe oder Karotte), Lycopin (Rot der Tomate), Farbstoffe in Spinat, Salat, Orangen, Bohnen, Broccoli, Paprika.

Da die Carotine als Antioxidantien wirken, hemmen sie Oxidationsvorgänge. Darum wird ihnen nachgesagt, sie hätten eine schützende Wirkung gegen Krebserkrankungen.

Das Beta-Carotin (Beta-Carotin) ist die Vorstufe von Retinol (*Vitamin A*) und wird deshalb auch als **Provitamin A** bezeichnet.

Carotin wird als Lebensmittelfarbe (*E 160* beziehungsweise *E 160 a*, siehe Lebensmittelzusatzstoff) sowie als Beigabe zu Vitaminpräparaten verwendet.

Beta-Carotin steht unter dem Verdacht, insbesondere bei Rauchern in hohen Dosen krebserregend zu sein. So wurden in einer australischen Studie (*Journal of the National Cancer Institute*, 21. Mai 2003), die den Effekt als Sonnenschutzmittel untersuchen wollte, bei Rauchern und Personen, die regelmäßig mehr als ein alkoholisches Getränk pro Tag zu sich nahmen, eine doppelte Anzahl von Adenomen des Dickdarms - den Vorstufen von Darmkrebs - gefunden. Bei Nichtrauchern und Nichttrinkern reduzierte sich deren Auftreten allerdings um 44%.

Diese Studie wie alle anderen zum Thema Nahrungsmittelergänzung zeigt vor allem eines: Es braucht große und reproduzierbare Studien, bis die vielen widersprüchlichen Ergebnisse unter einen Hut gebracht werden können.

**Version:** 30. Jan 2005 um 15:36

**Autoren:** Ben-Zin, Bierdimpfl, Christopher, Crux, Extrawurst, Mijobe, Nephelin, Ninjamask, Peterlustig, Publius, Rkraasch, Robodoc, Srbauer, Toke, Van Flamm, Vulture, Zwobot

**Bilder:** Extrawurst

## Carvon

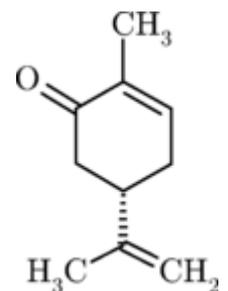
**Carvon** ist ein monocyclisches Monoterpen-Keton und Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt unter anderem in Kümmel und Dill vor.

Es ist eine farblose Flüssigkeit, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{14}O$ . Carvon ist gesundheitsschädlich.

**Version:** 6. Feb 2005 um 11:24

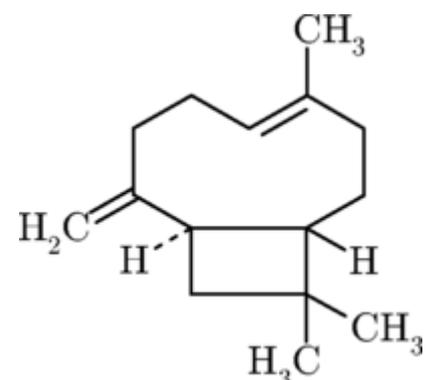
**Autoren:** DasBee, Klingon, Necrophorus, Nyfferet, Van Flamm

**Bilder:** Klingon



## Caryophyllen

**Caryophyllen** ist ein Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt als  $\alpha$ -Caryophyllen und  $\beta$ -Caryophyllen vor.  $\alpha$ -Caryophyllen ist ein monozyklisches Sesquiterpen, es kommt in Gewürznelken vor.  $\beta$ -Caryophyllen ist bicyklisches Sesquiterpen, es kommt in Kümmel und Pfeffer vor.

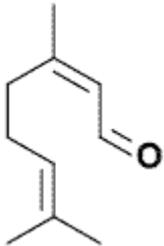


**Version:** 7. Feb 2005 um 18:23

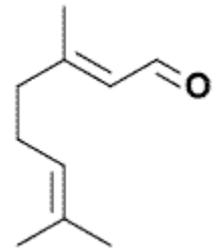
**Autoren:** DasBee, FotoFux, Klingon, Nyfferet, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

## Citral



**Citral** ist das Gemisch aus den Stereoisomeren Neral und Geranial, Geranial ist die trans-Form, Neral die cis-Form. Es handelt sich um acyclische Monoterpen-Aldehyde, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{16}O$ . Citral ist Hauptbestandteil vom Lemongrasöl. Citral ist eine schwach gelbliche Flüssigkeit mit intensiv-frischem Zitronenduft. Das Gemisch siedet bei  $228\text{ }^{\circ}\text{C}$ , in Wasser ist es nahezu unlöslich. Citral wirkt reizend. Neral und Geraniol lassen sich durch



Dehydrierung aus Nerol und Geraniol herstellen. Es ist Alarmpheromon der Blattschneiderameise. Citral wird als Duft- und Aromastoff verwendet. Es ist schwach wassergefährdend (WGK 1).

Geranial unter Anwesenheit von Bariumhydroxid und Aceton zu Ionon.

**Version:** 26. Jan 2005 um 19:33

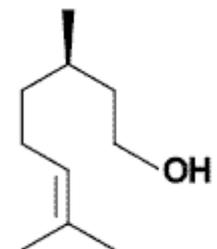
**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Citronellol

**Citronellol** (3,7-Dimethyl-6-Octen-1-ol) ist eine farblose bis hellgelbe Flüssigkeit. Es ist ein acyclisches Monoterpen-Alkohol mit der Summenformel  $C_{10}H_{20}O$ . Citronellol findet sich im Citronellöl. Es ist ein Isomer des Nerol. Die CAS-Nummer ist 106-22-9, das Molgewicht  $156,27\text{ g/mol}$ .

Die Flüssigkeit siedet bei  $222\text{ }^{\circ}\text{C}$ , die Dichte beträgt  $0,857\text{ g/cm}^3$ . In Wasser ist es unlöslich, mit Alkohol ist es mischbar. Der Flammpunkt liegt bei  $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die Flüssigkeit bricht das Licht mit einem Brechungsindex von 1,462.



Citronellol ist gesundheitsschädlich, die R-Sätze 36/37/38 und die S-Sätze 26-36 sind beim Umgang mit Citronellol zu beachten.

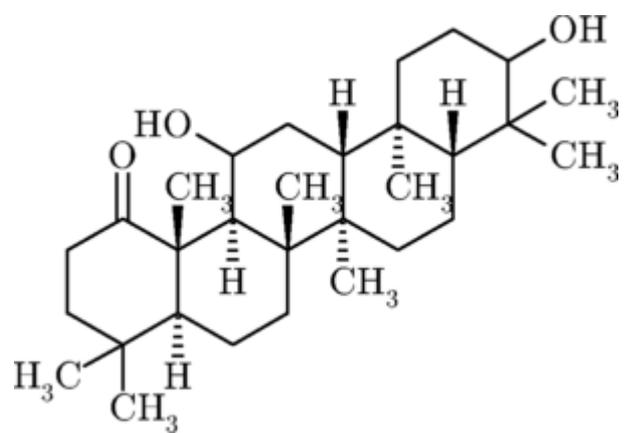
**Version:** 7. Feb 2005 um 18:37

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Coriandrinondiol

Coriandrinondiol ist ein Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt im Koriander (*Coriandrum sativum*) vor.



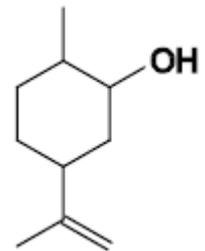
**Version:** 23. Jan 2005 um 13:07

**Autoren:** Bernhard55, DasBee, Franz Xaver, Guenny, Klingon, Nyfferet, Thiesi, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

## Dihydrocarveol

**Dihydrocarveol** ist eine Flüssigkeit mit der Summenformel  $C_{10}H_{18}O$  und einem blumig-minzigem Geruch. Es handelt sich um ein monocyclischen Monoterpen-Alkohol. Es kommt im Kümmel, Pfeffer, Sellerie und Minze vor. Die CAS-Nummer lautet 619-01-2. Die Molmasse beträgt 154,25 g/mol. Der Brechungsindex der Flüssigkeit liegt 1,47. Die Dichte beträgt 0,92 g/cm<sup>3</sup>. In Wasser ist es unlöslich, in Ethanol hingegen gut löslich. Dihydrocarveol hat zwei Enantiomere.



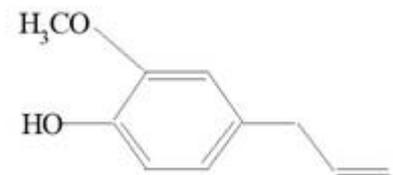
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:32

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Eugenol

**Eugenol** (auch 4-Allyl-2-methoxy-phenol, 2-Methoxy-4-allyl-phenol, 4-Hydroxy-3-methoxy-1-allyl-benzol, 4-Allylbrenzcatechin-2-methylether, 5-Allylguajacol) ist ein phenolisches Monoterpen, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{12}O_2$ . Es ist eine farblose, ölige Flüssigkeit mit intensiven Geruch nach Nelken. Die CAS-Nummer des Eugenols lautet 97-53-0.



## Eigenschaften

Eugenol kondensiert bei -12 °C und siedet bei 252 °C. In Ethanol, Ether, Chloroform und Ölen ist es gut löslich, in Wasser ist es schlecht löslich. Die Dichte beträgt 1,0625 g/cm<sup>3</sup>. Der Flammpunkt liegt bei 110 °C. Das Molgewicht beträgt 164,2 g/mol.

Durch Kaliumpermanganat oder Ozon wird Eugenol zu Vanillin oxidiert.

## Vorkommen und Verwendung

Eugenol kommt natürlich in Gewürznelkenöl (70-95 %), in Piment- und Pimentblätteröl (60-90 %), in Bayöl (50-60 %) und Zimtölen (Zimtrindenöl: 5-10 %, Zimtblattöl über 90 %) vor. Außerdem findet es sich in Lorbeer und Muskat.

Eugenol wird in großen Mengen in der Parfümerie für würzige Noten verwendet, insbesondere für Nelkentypen und orientalische Geruchsrichtungen. Eugenol ist neben der bei der Papierherstellung anfallenden Ligninsulfonsäure ein Hauptausgangsstoff (Edukt) für die Herstellung von synthetischem Vanillin. In der Zahnheilkunde dient Eugenol als schmerzstillendes und antibakterielles Mittel.

## Gefahren

Beim Metabolismus des Eugenols entsteht Glucuronsäure und Glutathion. Die orale LD<sub>50</sub>-Wert für eine Ratte beträgt 2680 mg/kg. Die R-Sätze 22-36/37-38-42/43 und S-Sätze 24-25-26-36 sind für das Eugenol festgelegt. Eugenol ist gesundheitsschädlich.



Xn

## Weblinks

- <http://www2.tk-gesundheit.de/htdocs/PopUp/zahnlexikon/content.cfm?id=870> Eugenol in der Zahnmedizin

**Version:** 22. Jan 2005 um 13:40

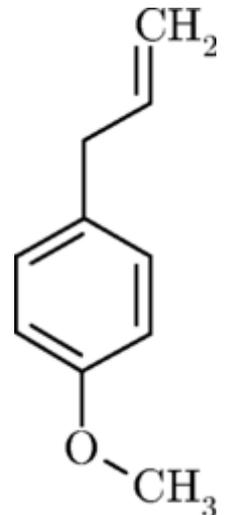
**Autoren:** An del, BWBot, Bdk, Bertonymus, Birger Fricke, Crux, Fedi, Finanzer, Heinte, Laborfaktotum, Lode, MikeKrueger, Schusch, Van Flamm, Wolfy, Zwobot

**Bilder:** Wolfy, (BirgitLachner, Paddy, Phrood, Zinnmann)

## Estragol

**Estragol** (auch Methylchavicol, 1-Methoxy-4-allylbenzol, 1-Methoxy-4-(2-propenyl)-benzol) ist ein aromatischer Bestandteil in den ätherischen Ölen aus Fenchel, Estragon, Basilikum, Anis, Piment, Muskatnuss, Bay oder Zitronengras. Die Summenformel lautet C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O.

Da die Substanz vielfach in Teeaufgüssen festgestellt wurde und unter dem Verdacht steht krebsauslösend zu sein, hat das Bundesinstitut für Risikobewertung auf die Dringlichkeit hingewiesen, dass in derartigen Teerzeugnissen Estragol nicht nachweisbar sein darf. Dem Institut erscheint die Absenkung des Estragol-Gehaltes vor allem aufgrund der Tatsache, dass diese Getränke häufig an Säuglinge und Kleinkinder verabreicht werden, dringend erforderlich.



## Weblinks

- <http://www.chemikalienlexikon.de/aroinfo/estragol.htm> Estragol im Riechstofflexikon
- <http://www.bgvv.de/cd/280> Bundesinstitut für Risikobewertung
- [http://www.bfr.bund.de/cm/208/gehalte\\_an\\_methyleugenol\\_und\\_estragol\\_in\\_teeaehnlichen\\_erzeugnissen.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/208/gehalte_an_methyleugenol_und_estragol_in_teeaehnlichen_erzeugnissen.pdf) Stellungnahme des "Bundesinstituts für Risikobewertung" zu Gehalten an Methyleugenol und Estragol in teeähnlichen Erzeugnissen

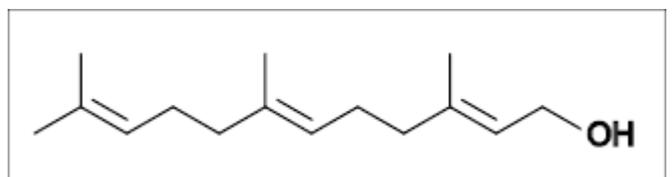
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:47

**Autoren:** Aldipower, Birger Fricke, DasBee, Klingon, Nyfferet, Pm, Thiesi, Van Flamm

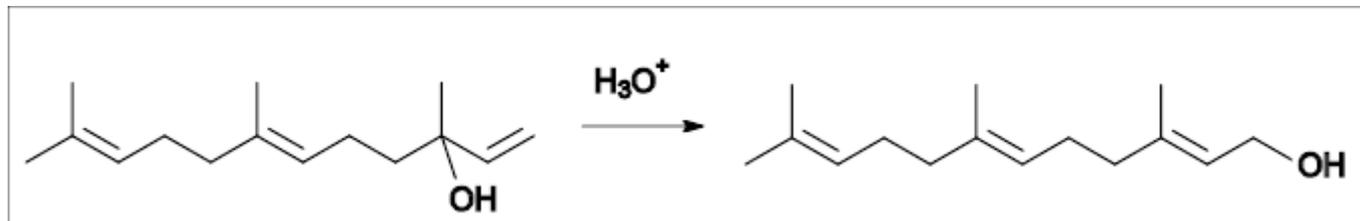
**Bilder:** Klingon

## Farnesol

**Farnesol** (3,7,11-trimethyl-2,6,10-dodecatrien-1-ol) ist eine farblose Flüssigkeit mit blumigen Geruch in etwa nach Maiglöckchen. Es handelt sich um ein



Sesquiterpen-Alkohol mit der Summenformel  $C_{15}H_{26}O$ . Die Dichte beträgt  $0,88 \text{ g/cm}^3$ . In Wasser ist es unlöslich. Der Flammpunkt liegt bei  $96 \text{ }^\circ\text{C}$ . Der orale  $LD_{50}$ -Wert für eine Ratte liegt bei  $6 \text{ mg/kg}$ . Es kommt im Anis, Jasminöl und Rosenöl vor. Es ist Hormon von Insekten. Es wird als Duft- und Wirkstoff verwendet. Die CAS-Nummer lautet 4602-84-0. Die Molmasse beträgt  $222,37 \text{ g/mol}$ . Farnesol wirkt konservierend und hat vielfach kosmetisch interessante Eigenschaften.



Es wird durch Protonierung von Nerolidol hergestellt, das über mehrere Schritte vom Linalool hergestellt wird.

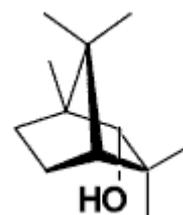
**Version:** 30. Jan 2005 um 20:45

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Fenchol

**Fenchol** (1,3,3-Trimethyl-2-nor-bornanol) bildet gelbliche bis grüne Kristalle aus. Die Summenformel lautet  $C_{10}H_{18}O$ . Es hat einen zitrusartigen Geruch und eine lemonartigen, bitteren Geschmack. Es handelt sich um ein bicyclischen Monoterpen-Alkohol. Es kommt im Rosmarin, Hopfen, Muskatnussöl und im Kiefernöl vor. In Wasser ist es unlöslich, in Alkohol hingegen gut löslich. Die CAS-Nummer lautet 22627-95-8. Die Molmasse beträgt  $154,25 \text{ g/mol}$ .



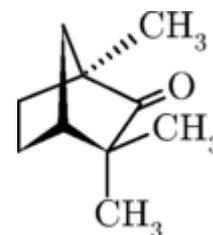
**Version:** 23. Jan 2005 um 12:50

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Fenchon

**Fenchon** ist ein bicyclisches Monoterpen-Keton. Es kommt im Fenchel vor und ist Bestandteil vieler ätherischer Öle. Fenchon ist eine farblose Flüssigkeit, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{16}O$ . In Wasser ist es unlöslich, in Ethanol hingegen gut löslich. Die CAS-Nummer lautet 4695-62-9. Die Dichte beträgt  $0,94 \text{ g/cm}^3$ .



Fenchon schmeckt bitter und riecht campherartig. Es wirkt wachstumshemmend auf Bakterien und Pilze. In höherer Dosierung wirkt es zentral erregend auf den menschlichen Organismus.

**Version:** 23. Jan 2005 um 14:50

**Autoren:** Klingon, Ninjamask, Nyfferet, Peterlustig, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

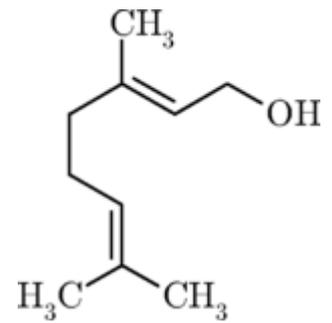
# Geraniol

Geraniol ist ein acyclisches Monoterpen-Alkohol und Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt unter anderem in Koriander, Lorbeer, Muskat und in der Rose vor. Geraniol ist eine farblose bis leicht gelbliche Flüssigkeit, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{18}O$ . Bei dem Geraniol tritt die cis-trans-Isomerie auf. Geraniol ist das trans-Isomer, Nerol das cis-Isomer.

Version: 14:51, 23. Jan 2005

Autoren: DasBee, Franz Xaver, Klingon, Nyfferet, Van Flamm

Bilder: Klingon

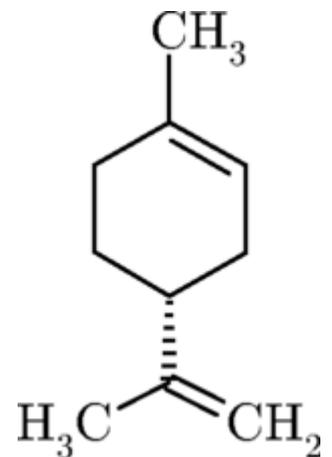


# Limonen

**Limonen** (Carven, Dipenten, p-Menthadien-1,8(9), 1-Methyl-4-isopropenyl-1-cyclohexene) ist ein Naturstoff aus der Gruppe der Terpene (monocyclisches Monoterpen). Es ist eine farblose Flüssigkeit mit zitronenartigen Geruch, die mit der Summenformel  $C_{10}H_{16}$  zu den Terpen-Kohlenwasserstoffen gehört. Es wurde schon 1878 von Gustave Bouchardat hergestellt, als er Isopren erhitzte. Die CAS-Nummer lautet 5989-27-5 für das d-Limonen und 138-86-3 für l-Limonen.

## Eigenschaften

Limonen kommt in der rechtsdrehenden (d-Limonen) und linksdrehenden (l-Limonen) Form sowie als optisch inaktives Racemat, also der Mischung beider Formen, vor. Das Racemat der beiden Enantiomere wird auch *Dipenten* genannt. Limonen ist eine farblose Flüssigkeit, die bei  $-95\text{ °C}$  kondensiert und zwischen  $170$  und  $180\text{ °C}$  siedet. Die Dichte beträgt  $0,84\text{ g/cm}^3$ . Es ist in Wasser unlöslich und riecht zitronenartig. Limonen reizt die Haut und ist entzündlich. Der Flammpunkt des d-Limonen liegt bei  $48\text{ °C}$ , die Zündtemperatur bei  $237\text{ °C}$ . Der Dampfdruck beträgt bei  $20\text{ °C}$   $0,4\text{ kPa}$ . Das Molgewicht beträgt  $136,24\text{ g/mol}$ .



## Vorkommen

Limonen ist das in Pflanzen am häufigsten vorkommende Monoterpen. d-Limonen ist vor allem in Pomeranzenschalenöl, in Kümmelöl, in Dillöl, in Korianderöl, in Zitronenöl ( $31\text{ mg/kg}$ ) und in Orangenöl enthalten. Dagegen ist l-Limonen in Edeltannen- und in Pfefferminzöl enthalten. Das racemische Limonen kommt unter anderem im Kienöl, im sibirischen Fichtennadelöl, Muskatnussöl und Campheröl vor.

## Verwendung

Traditionell wird Limonen als billiger Duftstoff eingesetzt. Heute wird es vorwiegend als biogenes Lösungsmittel verwendet und dient als Reiniger und Verdünnungsmittel, beispielsweise in der Lackindustrie.

Durch zwei aufeinander folgende Reaktionen mit Sauerstoff und Kohlendioxid entsteht Poly-Limonen-Karbonat, ein Stoff mit Styropor-ähnlichen Eigenschaften.

## Gefahren und Metabolismus

Ein MAK-Wert ist nicht festgelegt. Bei Metabolismus des Limonens entsteht hauptsächlich Perillinsäure, Dihydroperillinsäure, Limonen-1,2-diol und Uroterpenol. Limonen wirkt reizend.

**Version:** 23. Jan 2005 um 14:50

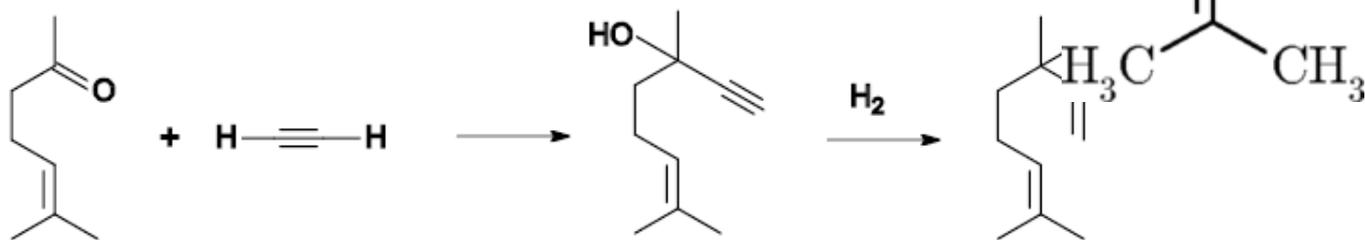
**Autoren:** Birger Fricke, Crux, Edgehold, Edguy, Fedi, FrankOE, Franz Xaver, Klingon, MAK, Raymond, Tohma, Van Flamm, Vigala Veia, Xvlun, Zwobot

**Bilder:** Klingon

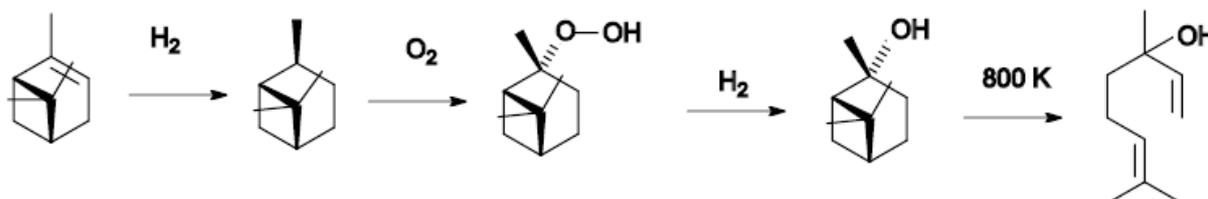
## Linalool

**Linalool** ist ein acyclisches Monoterpen-Alkohol und Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt unter anderem in Koriander, Muskat, Zimt, Basilikum und Majoran vor. Linalool ist eine farblose Flüssigkeit mit der Summenformel  $C_{10}H_{18}O$ , sie siedet bei 196 bis 198 °C. Es ist Zwischenprodukt bei der Synthese zum Vitamin E.

### Synthese

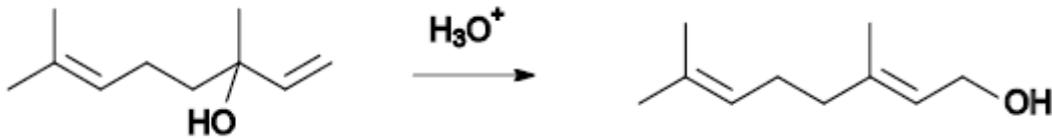


Linalool wird vom Methylheptenon zum Dehydrolinalool ethinyliert, dieses wird dann an Katalysatoren, zumeist Platin zum Linalool hydriert, diese Synthese gelang erstmals 1919.

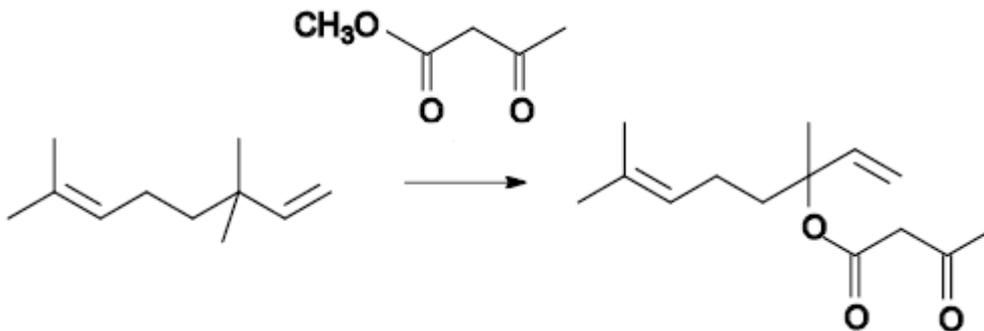


Bei einer zweiten Art von Synthese wird Pinen zum Pinan hydriert, an der Luft zu Pinanhydroperoxid oxidiert, dannach zu Pinanol hydriert und dann bei Temperaturen von über 500 °C zum Linalool umformiert.

## Reaktionen



Linalool wird im sauren Milieu zum Geraniol protoniert.



Mit Acetessigsäuremethylester erfolgt die Umesterung des Linalools, dies kann in einem nächsten Schritt decarboxyliert werden, der Schritt ist Bestandteil der Synthese zu Nerolidol beziehungsweise dem Farnesol.

**Version:** 27. Jan 2005 um 17:10

**Autoren:** Franz Xaver, Klingon, Nyfferet, Van Flamm, Zerohund

**Bilder:** Klingon, Van Flamm

## Lycopin

**Lycopin** ist das wichtigste Carotinoid. Es verleiht den Tomaten und Hagebutten die rote Farbe. Reife Tomaten haben einen besonders hohen Lycopinanteil. Er liegt bei ca. 3,9 - 5,6 mg pro 100 g reife Tomaten. Wesentlich mehr Lycopin enthalten Dosentomaten: ca. 10 mg pro 100 Gramm Doseninhalt. Dosentomaten werden meist erst in reifem Zustand geerntet und enthalten deshalb mehr von diesem gesunden Inhaltsstoff. Konzentriertes Tomatenmark enthält sehr hohe Lycopinkonzentrationen (ca. 62 mg Lycopin pro 100 Gramm).

Lycopin, das in Dosentomaten oder in Tomatenmark enthalten ist, ist angeblich vom menschlichen Körper besser verwertbar.

Lycopin zählt zu den Antioxidantien und gilt als Radikalfänger, d.h. es kann bestimmte aggressive Moleküle im menschlichen Körper unschädlich machen. Studien haben gezeigt, dass Lycopin die Wahrscheinlichkeit für bestimmte Krebsarten (z.B. Prostata- und Lungenkrebs) signifikant reduzieren kann.

Außerdem wird der UV-Schutz der Haut durch Einlagerung von Lycopin in die Hautschichten verbessert. Lycopin ist daher auch ein natürlicher Sonnenschutz.

### Lycopin als Radikalfänger

Carotinoide, insbesondere das Lycopin, zählen zu den wirksamsten natürlich vorkommenden Quenchern für Singulett-Sauerstoff  $^1\text{O}_2$ . Dieser wird z.B. durch photochemische Reaktionen bei der Lichtabsorption gebildet und ist hochreaktiv. Er kann verschiedene Aminosäuren in Proteinen, Nukleinsäuren sowie ungesättigte Fettsäuren oxidieren. Bei der Quenchingreaktion gehen die Carotinoide in einen angeregten Triplettzustand über ( $^1\text{O}_2 + ^1\text{Car} \rightarrow ^3\text{O}_2 + ^3\text{Car}$ ). Anschließend erreichen die Carotinoide durch Abgabe von Wärme wieder ihren Grundzustand ( $^3\text{Car} \rightarrow ^1\text{Car} + \text{Wärme}$ ). Die Carotinoidmoleküle werden also bei dieser Reaktion nicht chemisch umgewandelt und stehen somit für weitere Quenchingprozesse zur Verfügung. Die Quenchingrate von Lycopin ist besonders hoch (ca. doppelt so groß wie bei  $\beta$ -Carotin und 100 mal so groß wie bei Alpha - Tocopherol).

## Lebensmittelzusatzstoff

Lycopin wird als rote Lebensmittelfarbe als "Carotinoid" deklariert (siehe auch Carotin (E 160a-160f)). Lycopin wird mit organischen Lösungsmitteln (Hexan, Dichlormethan, Methanol) aus Tomatenkonzentrat gewonnen; 1 kg Tomaten enthalten ca. 20 mg Lycopin. Es wird vor allem zur Färbung von herzhafte Produkten, Suppen und Soßen, wo der Beigeschmack nach Tomate nicht stört, eingesetzt.

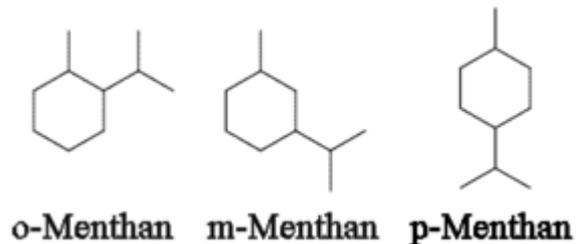
**Version:** 30. Jan 2005 um 15:15

**Autoren:** Kurt Jansson, Srbauer, Urbanus, Van Flamm

**Bilder:** /

## Menthan

**Menthan** (p-Menthan) ist eine farblose Flüssigkeit mit einem fenchel- oder minzähnlichem Geruch. Die Flüssigkeit gehört mit der Summenformel  $\text{C}_{10}\text{H}_{20}$  zu den Terpen-Kohlenwasserstoffen. Von dem p-Menthan gibt es eine cis- und eine trans-Form außerdem gibt es die Isomere o-Menthan und m-Menthan.



Menthan kommt in der Natur, im Gegensatz zu den meisten Terpenen, nur selten vor, zum Beispiel im etherischen Fruchtlöl des Baumes *Eucalyptus globulus*.

Die Flüssigkeit siedet bei ungefähr  $160\text{ }^\circ\text{C}$ , die Dichte beträgt ungefähr  $0,80\text{ g/cm}^3$ .

Menthan kann durch Hydrierung der Terpene p-Cymol, Limonen oder Terpinen hergestellt werden. Menthan hat nahezu keine technische Verwendung, nur zur Herstellung des Katalysators p-Menthanhydroperoxid wird es gebraucht.

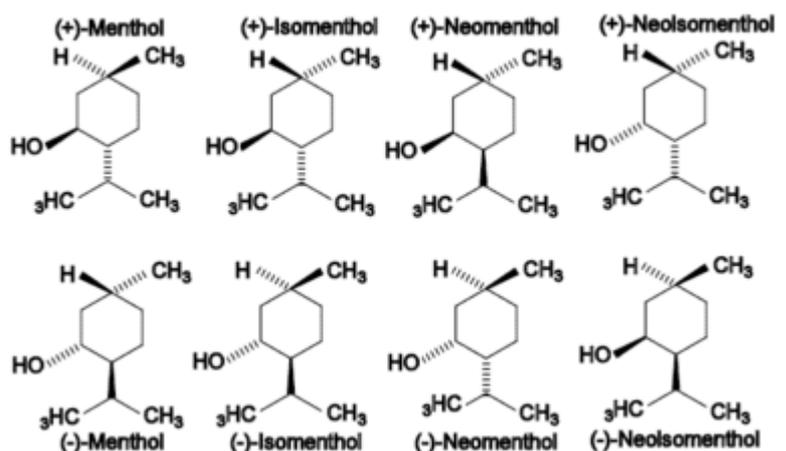
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:40

**Autoren:** Van Flamm, Welting

**Bilder:** Van Flamm

## Menthol

**Menthol** ist ein farbloser, kristalliner Feststoff mit Pfefferminzgeruch. Das Kristallsystem ist hexagonal, die Kristalle sind nadelförmig. Es ist ein monocyc-



lischer Monoterpen-Alkohol mit der Summenformel  $C_{10}H_{19}OH$ . Menthol kommt in vielen ätherischen Ölen, besonders in Pfefferminzölen vor.

## Eigenschaften

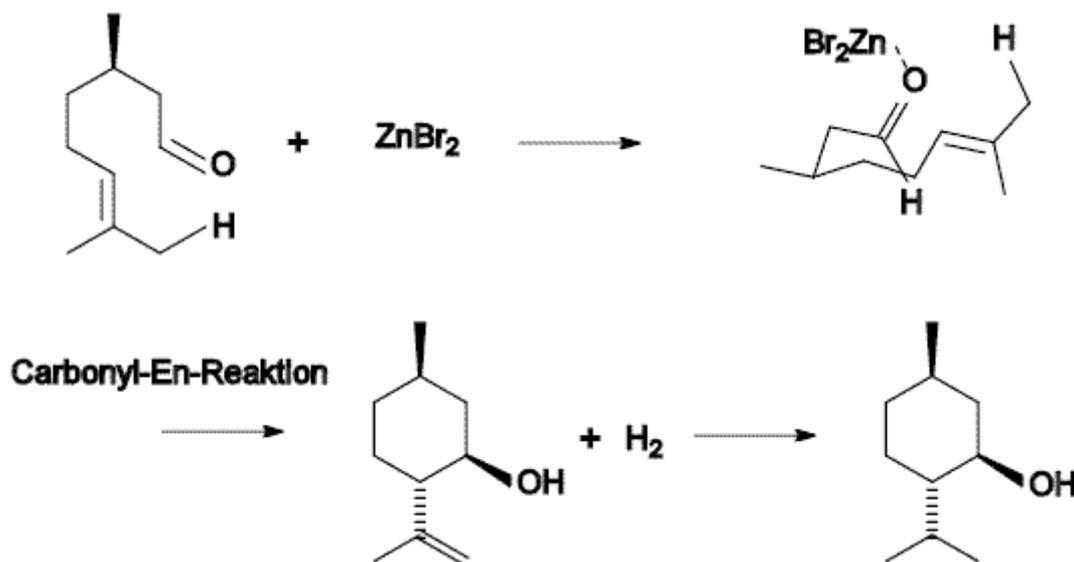
Es gibt 8 Diastereomere, (-)-Menthol, (+)-Menthol, (+)-Isomenthol, (-)-Isomenthol, (+)-Neomenthol, (-)-Neomenthol und (+)-Neoisomenthol sowie (-)-Neoisomenthol. Racematisches Menthol schmilzt zwischen 31 und 35 °C und siedet bei 216 °C. In Wasser sind nur 0,4 g/l des Racemat löslich. In Ethanol und ähnlichen Lösungsmitteln ist es dagegen gut löslich. Die Dichte beträgt 0,89 g/cm<sup>3</sup>. Menthol bricht das Licht mit einem Brechungsindex von 1,46 leicht stärker als Wasser.

Die Geschmacksschwelle liegt zwischen 0,2 ((+)-Menthol) und 1 ((-)-Menthol) parts per million.

Die Gerüche der Enantiomere unterscheiden sich stark. (+)- und (-)-Menthol riechen vor allem kühl, frisch, minzig und süß, wobei diese Gerüche beim (-)-Menthol stärker ausgeprägt sind. Beim Isomenthol überwiegt im Geruch das (+)-Isomenthol, das schal, kühl, minzig, frisch und süß riecht, beide Enantiomere riechen vor allem schal. Die beiden Neomenthole riechen ähnlich: schal, frisch, minzig und süß. Das (-)-Neoisomenthol riecht nach Kampfer, schal, süß, minzig, kühlend und frisch, das (+)-Neoisomenthol hat einen Geruch nach Kampfer, schal und nach Wald, es riecht hingegen gar nicht minzig, kühlend und frisch.

## Herstellung

Die jährliche Weltproduktion liegt bei 6.300 Tonnen. Hauptsächlich wird Menthol immer noch durch Isolation von Pflanzen hergestellt.



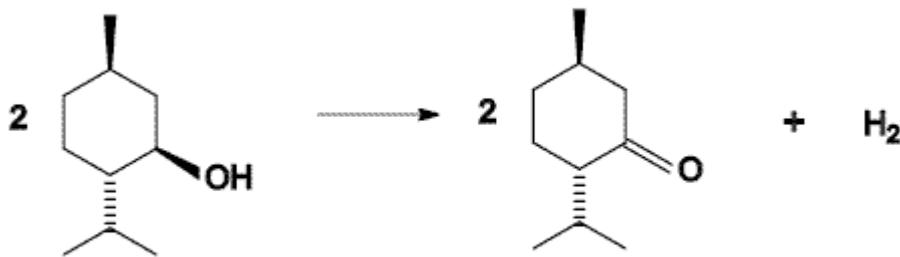
Das Bild zeigt die technische Synthese des (-)-Menthols. Sie geht vom Citronellal aus, dem Zinkbromid zugefügt wird. In einer Carbonyl-En-Reaktion wird es zum Isopulegol umgewandelt. Dieses wird an Nickelkatalysatoren zum Menthol hydriert. Dies ist aber nur eine von vielen Menthol-Synthesen: Menthol lässt sich auch ausgehend vom Pulegon, Phellandren, 3-Caren, Pinen, Limonen, Myrcen, Piperiton oder durch Hydrierung vom Thymol beziehungsweise dem Kresol synthetisieren.

## Vorkommen und Verwendung

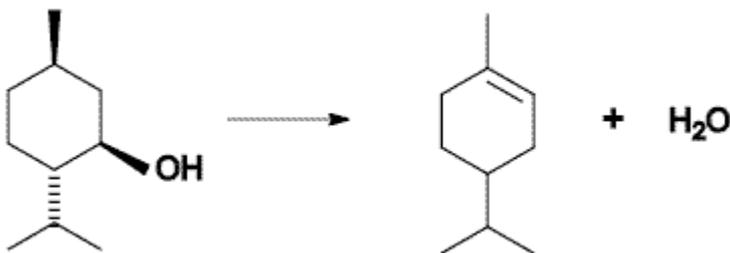
(+)-Neomenthol findet sich im japanischen Pfefferminzöl, (-)Neoisomenthol mit bis zu einem Prozent im Geraniumöl.

Menthol wird gelegentlich Zigaretten beigemischt. (-)-Menthol ist ein schwaches Lokalanästhetikum. Das (-)-Menthol hat medizinische Anwendungen: So wird es zum Beispiel als Analgetikum verwendet. Außerdem findet Menthol als Duft- und Aromastoff Verwendung.

## Reaktionen



Durch Oxidation mit zum Beispiel Chromsäure geht Menthol (im Bild (-)-Menthol) in Menthon (im Bild (-)-Menthon) über.



Durch Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure wird Menthol (im Bild (-)-Menthol) zu Menthen dehydratisiert.

## Gefahren

Menthol ist giftig, schon wenige Gramm Menthol verursachen Herzrhythmusstörungen. Die orale Letale Dosis für eine Ratte liegt bei 1380 mg/kg. Der Metabolismus des Menthols läuft hauptsächlich in der Leber ab, es entsteht Mentholglucuronid, das über den Harn ausgeschieden wird. Es ist stark wassergefährdend (WGK 3).

## Literatur

- Friedrich Hartmut Dost: *Menthol and menthol-containing external remedies*. Thieme (1967), ISBN B0000BSM92
- Anja Langeneckert: *Untersuchungen zur Pharmakokinetik und relativen Bioverfügbarkeit von alpha-Pinen, 1,8-Cineol und Menthol nach dermalen, inhalativer und peroralen Applikation ätherischer Öle*. Shaker Verlag GmbH (1999), ISBN 382656457X

## Weblinks

- <http://www.chemikalienlexikon.de/aroinfo/0375-aro.htm>
- <http://www.leffingwell.com/menthol1/menthol1.htm>

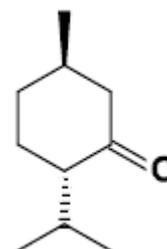
**Version:** 2. Feb 2005 um 07:30

**Autoren:** BWBot, Edgehold, Fuzzy, Martin-vogel, Thiesi, Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Menthon

**Menthon** ist eine farblose Flüssigkeit mit Minzgeruch. Die Summenformel lautet  $C_{10}H_{18}O$ , es gibt zwei Enantiomere des Menthons. Die Molmasse beträgt 154,25 g/mol. Menthon lässt sich durch Oxidation von Menthol herstellen. Die Flüssigkeit erstarrt bei  $-6\text{ °C}$  und siedet bei ungefähr  $210\text{ °C}$ . Die Dichte beträgt  $0,89\text{ g/cm}^3$ , der Brechungsindex ist 1,45. Der Flammpunkt liegt bei  $72\text{ °C}$ . Es ist unlöslich in Wasser aber gut in Ethanol löslich. Die CAS-Nummer für das Racemat lautet 214-049-2. Menthon findet sich im Geraniumöl und im Pfefferminzöl. Ein Isomer ist das Isomenthon von dem wiederum zwei Enantiomere gibt



**Version:** 6. Feb 2005 um 11:19

**Autoren:** Van Flamm

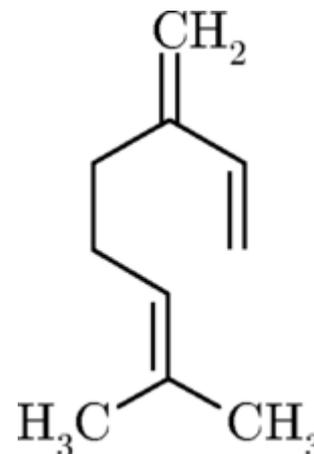
**Bilder:** Van Flamm

## Myrcen

**Myrcen** (7-Methyl-3-Methyl-1,6-Oktadien) ist eine farblose bis leicht gelbe Flüssigkeit. Myrcen ist ein acyclisches Monoterpen und Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt in Pflanzen häufig vor, unter anderem in Kümmel, Fenchel, Estragon, Dill, Hopfen sowie Hanfölen. Die Summenformel lautet  $C_{10}H_{16}$ . Die CAS-Nummer lautet 123-35-3.

Die Flüssigkeit siedet bei  $167\text{ °C}$  und bricht das Licht mit einem Brechungsindex von 1,4690 stärker als Wasser. Die Dichte beträgt  $0,801\text{ g/cm}^3$ , der Flammpunkt liegt bei  $39\text{ °C}$ . Myrcen ist in Lösungsmitteln wie Alkohol, Chloroform und Ether gut löslich.

Myrcen wird durch Pyrolyse von  $\beta$ -Pinen hergestellt. Es wird zur Herstellung von Geruchs- und Geschmacksstoffen, die in der Parfümerie und Pharmazie eingesetzt werden, verwendet.



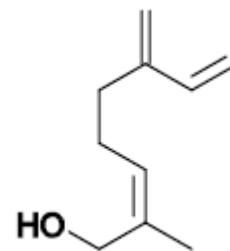
**Version:** 4. Feb 2005 um 22:55

**Autoren:** DasBee, Klingon, Nyfferet, Pm, Schewek, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

# Myrcenol

**Myrcenol** ist eine farblose Flüssigkeit mit frischem, zitrusartigen Geruch mit der Summenformel  $C_{10}H_{18}O$ . Es handelt sich um ein Monoterpen-Alkohol. Die CAS-Nummer lautet 543-39-5. Die Dichte beträgt  $0,87 \text{ g/cm}^3$ , der Brechungsindex der Flüssigkeit liegt bei 1,47. Der Flammpunkt liegt bei  $83 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Molmasse beträgt  $154 \text{ g/mol}$ . Mit Acrolein reagiert Myrcenol an Lewis-Katalysatoren zu Lyral. Es findet sich im Thymianöl.



**Version:** 23. Jan 2005 um 16: 01

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

# Nerol

**Nerol** (2,6-Dimethyl-2,6-octadien-8-ol) ist eine klare Flüssigkeit mit der Summenformel  $C_{10}H_{18}O$  und einem frischen, süßen, rosig-zitrusartigen Geruch. Es ist ein monocyclisches Monoterpen-Alkohol.

Die Dichte beträgt  $0,88 \text{ g/cm}^3$ . Nerol siedet bei ungefähr  $225 \text{ }^\circ\text{C}$ . Der Flammpunkt liegt bei  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . In einem Liter Wasser sind weniger als ein Gramm Nerol löslich. Der Brechungsindex der Flüssigkeit liegt bei 1,47. Die Molmasse beträgt  $154,25 \text{ g/mol}$ .

Bei dem Nerol tritt die cis-trans-Isomerie auf Geraniol ist das trans-Isomer, Nerol das cis-Isomer. Nerol ist gesundheitsschädlich. Nerol kommt im Lavendel- und Rosenöl vor.

Es wird zu Herstellung von Vitamin A und Vitamin E benötigt. An der Luft wird es zu Neroloxid oxidiert.

**Version:** 23. Jan 2005 um 20:58

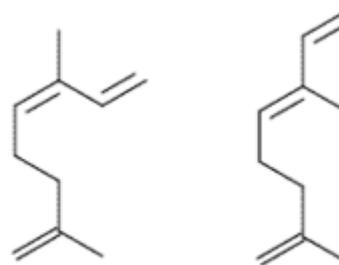
**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** /

# Ocimen

**Ocimen** (3,7-Dimethyl-1,3,6-octatrien) ist eine farblose Flüssigkeit. Seine CAS-Nummer ist 13877-91-3. Es ist ein acyclisches Monoterpen und gehört zu den Kohlenwasserstoffen, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{16}$ . Es gibt ein cis und ein trans-Ocimen. Sein Molgewicht beträgt  $136,24 \text{ g/mol}$ . Ocimen ist ein Isomer zu Myrcen und Phellandren.

Der Flammpunkt der Flüssigkeit liegt bei  $56 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ocimen ist lichtbrechend, der Brechungsindex ist 1,49. Die Dichte liegt zwischen  $0,78$  und  $0,79 \text{ g/cm}^3$ . Bei  $2779 \text{ Pa}$  erstarrt die Flüssigkeit bei  $73 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**cis-a-Ocimen trans-a-Ocimen**

Der Geruch von Ocimen erinnert an Kiefer und Zitrusfrucht. Ocimen findet sich zum Beispiel in den Blüten der Lavendel. Die Flüssigkeit wird als Duftstoff eingesetzt.

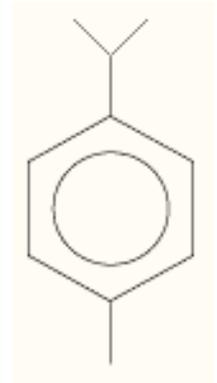
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:48

**Autoren:** Aineias, Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## P-Cymol

**p-Cymol** (auch Dolcymen oder Camphogen, nach der IUPAC-Nomenklatur 1-Methyl-4-isopropylbenzol, CAS-Nummer 99-87-6) ist eine farblose, entzündliche Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch. Die Flüssigkeit gehört zu den Terpen-Kohlenwasserstoffen, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{14}$ .



Die Flüssigkeit kondensiert bei  $-68\text{ °C}$  und siedet bei  $177\text{ °C}$ . In Wasser ist die Flüssigkeit unlöslich, die Dichte beträgt  $0,854\text{ g/cm}^3$ . Bei  $20\text{ °C}$  beträgt der Dampfdruck  $200\text{ Pa}$ .

Der Flammpunkt der Flüssigkeit liegt  $47\text{ °C}$ , die Zündtemperatur  $435\text{ °C}$ . Zwischen einem Luftvolumenanteil von 0,7 und 5,6 Prozent bildet es explosive Gemische. Ein MAK-Wert ist für Cymol nicht festgelegt.

P-Cymol hat keine besondere biologische Aufgabe dennoch kommt sie in vielen Pflanzen vor. Die drei wichtigsten Pflanzen sind *Chenopodium ambrosioides* (730 bis 8000 ppm in der Pflanze), *Peumus boldus* (6000 bis 7500 ppm in den Blättern) und *Satureja hortensis* (Einfaches Bohnenkraut) (300 bis 6000 ppm in der Pflanze).

Bei Inhalation führt p-Cymol zu Schwindel, Schläfrigkeit und Erbrechen. Die Haut entfettet es und rötet Haut und Augen. Bei Verschlucken führt die Flüssigkeit zu Durchfall, Kopfschmerzen, Übelkeit, Bewusstlosigkeit, Erbrechen und Schläfrigkeit.

## Weblinks

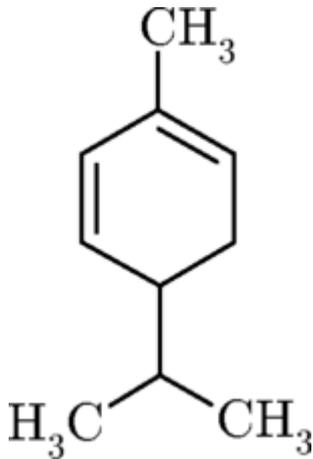
- <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/duke/chemical.pl?PCYMOL> Informationen zum Vorkommen in Pflanzen]
- <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsnrgm/ngrm0617.html> International Chemical Safety Cards

**Version:** 6. Feb 2005 um 20:16

**Autoren:** Elfer, Van Flamm, Wendelin

**Bilder:** Van Flamm

## Phellandren



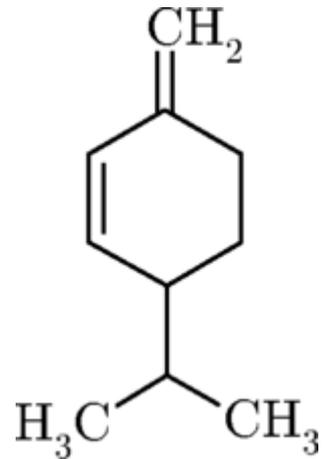
**Phellandren** ist eine farblose, ölige Flüssigkeit. Es ist Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt unter anderem in Kümmel, Fenchel, Eukalyptusöl und Dill vor. Es gehört zu den Terpen-Kohlenwasserstoff, die Summenformel lautet  $C_{10}H_{16}$ .

Phellandren gibt es als  $\alpha$ - und  $\beta$ -Phellandren. Die Geruchsschwelle des  $\beta$ -Phellandrens liegt bei 700 ppb.

**Version:** 23. Jan 2005 um 14:39

**Autoren:** DasBee, Klingon, Nyfferet, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

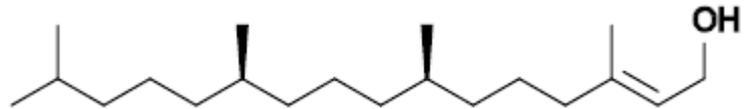


## Phytol

**Phytol** (nach der IUPAC-Nomenklatur 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol)

ist eine farblose Flüssigkeit mit der Summenformel  $C_{20}H_{40}O$ . Es ist ein

Diterpen-Alkohol. Es gibt zwei cis-trans-Isomere des Phytols. Die CAS-Nummer lautet 7541-49-3. Als veresterte Komponente kommt es im Chlorophyll vor.



Die Dichte des Phytols beträgt  $0,85 \text{ g/cm}^3$ . Der Brechungsindex der Flüssigkeit beträgt 1,46. Der Flammpunkt liegt bei  $187 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Molmasse beträgt  $296,54 \text{ g/mol}$ .

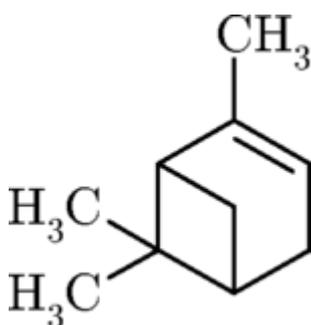
Phytol ist umweltschädlich. Es wird als Duftstoff verwendet und für die Synthese von Vitamin E und Vitamin K benötigt. Die R-Sätze 36/38 und S-Sätze 26-36 sind beim Umgang mit Phytol zu beachten.

**Version:** 23. Jan 2005 um 16:01

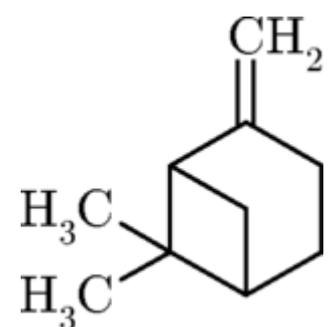
**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Pinen



**Pinen** ist ein Monoterpen-Kohlenwasserstoff, es ist eine farblose Flüssigkeit mit der Summenformel  $C_{10}H_{16}$ . Pinen ist ein Bestandteil von ätherischen Ölen. Es kommt als  $\alpha$ -Pinen und  $\beta$ -Pinen, zwei Isomeren, vor. Die CAS-Nummer lautet für das  $\alpha$ -Pinen 7785-26-4, für das  $\beta$ -Pinen 18172-67-3. Die Molmasse beträgt  $136,24 \text{ g/mol}$ . Für beide Isomere ist ein MAK-Wert von  $560 \text{ mg/cm}^3$  festgelegt. Die beiden Isomere kommen in Fichtennadeln, Dill, Fenchel, Koriander



und Kümmel. Außerdem kommen sie in Produkten wie Farben, Ölen und Wachsen vor. Pinen dient zur Herstellung von Sandalore, Citronellal, Campher, Linalool und Myrcen.

## Eigenschaften

$\alpha$ -Pinen kondensiert bei  $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$  und siedet bei  $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\beta$ -Pinen kondensiert bei  $-61\text{ }^{\circ}\text{C}$  und siedet bei  $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die Dichte unterscheidet sich nur geringfügig und liegt bei  $0,86\text{ g/cm}^3$ .  $\alpha$ -Pinen ist gesundheitsschädlich,  $\beta$ -Pinen wirkt reizend. Der Flammpunkt des  $\alpha$ -Pinen liegt bei  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , der des  $\beta$ -Pinen bei  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Dampfdruck des  $\beta$ -Pinen beträgt  $266\text{ Pa}$ . Durch Einwirken von Hitze kann es in das Myrcen umgewandelt werden.

**Version:** 30 Jan. 2005 um 15:09

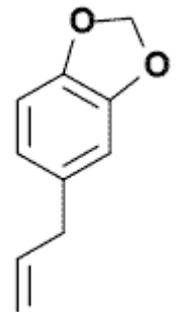
**Autoren:** Crux, DasBee, Franz Xaver, Kku, Klingon, Nyfferet, Van Flamm

**Bilder:** Klingon

## Safrol

**Safrol** (3,4-Methylenedioxy-allylbenzol) ist eine Flüssigkeit mit angenehmem, würzig-anisartigem Geruch. Die Summenformel lautet  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_2$ . Die CAS-Nummer lautet 94-59-7. Safrol kondensiert bei  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  und siedet bei  $233\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Safrol kommt in manchen, vor allem tropischen, Pflanzen vor. Es ist der Hauptbestandteil einiger ätherischer Öle; so bildet es etwa im nordamerikanischen Sassafrasöl mehr als 90 % der flüchtigen Fraktion. Andere safrolreiche Pflanzen sind das mittelamerikanische Pfeffergewächs *Piper auritum* oder der südamerikanische Baum *Ocotea sassafras* (siehe auch Zimtland-Expedition). Die bedeutendste Quelle ist der in Asien heimische Kampferbaum, dessen Wurzelöl hauptsächlich Safrol liefert. In kleineren Mengen kommt Safrol in einer großen Anzahl von Pflanzen vor, z. B. in schwarzem Pfeffer oder in Muskatnüssen.



Wegen seines angenehmen Geruchs wurden safrolhaltige Pflanzenextrakte früher sowohl in der Nahrungsmittelzubereitung als auch in der Parfümerie verwendet. So verdankte ihm das US-amerikanische *root beer* seinen typischen Geschmack. Allerdings ist Safrol von erheblicher Giftigkeit für Leber und Niere und steht darüber hinaus im Verdacht krebserregender Wirkung. Safrol ist heute in allen Ländern der EU kein zugelassener Lebensmittelzusatzstoff.

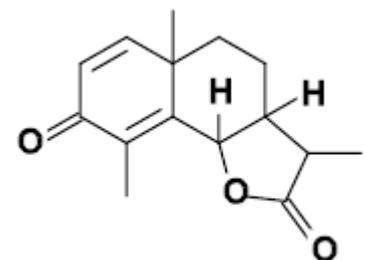
**Version:** 21. Jan 2005 um 18:54

**Autoren:** BWBot, Schubbay, Van Flamm, Vic Fontaine

**Bilder:** Van Flamm

## Santonin

**Santonin** (Santoninsäureanhydrid) ist der wirksame Bestandteil des sogenannten Wurmsamens, aus dem es fabrikmäßig dargestellt wird. Santonin bildet glänzende, weiße, tafelförmige Kristalle aus, die geruchlos und geschmacklos sind, aber in alkoholischer Lösung stark bitter schmecken.



Zu seiner Gewinnung kocht man den Wurmsamen mit verdünnter

Kalkmilch aus, zersetzt die so erhaltene Lösung des santonsauren Kalkes mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure, wodurch das Santonin ausgefällt wird, entfernt das gleichzeitig mit abgeschiedene Harz durch Behandlung mit heißem ammoniakalischen Wasser und kristallisiert das noch gefärbte Santonin, nach Behandlung seiner alkoholischen Lösung mit Tierkohle, aus Alkohol um. Die Ausbeute beträgt 1,8 bis 2,3 Prozent.

Der Schmelzpunkt liegt bei 170 °C. In Wasser ist das Santonin kaum löslich, gegenüber Lackmus zeigt es keine Wirkung. In chemischer Hinsicht ist es das Anhydrid der ein basischen Santoninsäure,  $C_{15}H_{20}O_4$  und der Formel  $C_{15}H_{18}O_3$  entsprechend.

Durch Kochen von santoninsaurem Barium mit Barytwasser entsteht eine neue, aber isomere Säure, die Santonsäure. Im zerstreuten Tageslichte, schneller im direkten Sonnenlichte, färbt sich das Santonin gelb und muss daher in schwarzen Gläsern im Dunkeln aufbewahrt werden. Seine Säure, die Santoninsäure, erleidet dagegen im Sonnenlichte keine Farbenveränderung. Will man gelb gewordenes Santonin wieder entfärben, so muss man es aus Alkohol umkristallisieren.

Das Santonin wie auch das santoninsaure Natrium wird gegen Spulwürmer den Kindern gewöhnlich in Form kleiner Tabletten aus einer Eiweiß und Zucker enthaltenden leichten Schaummasse von kegelförmiger Gestalt, sogenannte Santoninzeltchen verabreicht, von denen die schwächeren 0,03 g, die stärkeren 0,05 g Santonin enthalten. In größeren Mengen wirkt Santonin giftig.

## Literatur

- Ludmilla Birladeanu: *Die Geschichte von Santonin und Santonsäure*. Angewandte Chemie 115(11), S. 1236 - 1242 (2003), ISSN 0044-8249

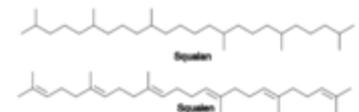
**Version:** 30. Jan 2005 um 23:46

**Autoren:** Aineias, Daniel FR, Paddy, Van Flamm, Wissen

**Bilder:** Van Flamm

## Squalan

**Squalan** (nach der IUPAC-Nomenklatur 2,6,10,15,19,23-Hexamethyltetracosan) ist eine farblose, ölige Flüssigkeit mit der Summenformel  $C_{30}H_{62}$ . Es ist ein acyclischer Triterpen-



Kohlenwasserstoff (spezieller Alkan) und zusammen mit dem Squalen Grundverbindung der meisten Triterpene. Die CAS-Nummer lautet 111-01-3. In allgemeinen folgt es den Eigenschaften der Alkane.

Squalan und Squalen.

Die Dichte beträgt 0,809 g/cm<sup>3</sup>. In Ether, Aceton und Chloroform ist es gut löslich. Bei -39 °C kondensiert es. Der Flammpunkt der Flüssigkeit liegt bei 217 °C. Squalan ist aus zwei Farnesan-Einheiten *Schwanz-Schwanz* (siehe Terpene für Erklärung) verknüpft. Es kommt im Fischlebertran und vielen Pflanzenölen, in geringen Mengen auch im Mutterkorn, vor. Botryococan ist ein Isomer des Squalans. Als Phytosqualan wird es in Kosmetikprodukten verwendet.

## Weblinks

- <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C111013&Units=SI&Mask=80#IR-Spec> IR-Spektrum des Squalans
- <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Name=Squalane&Units=SI&cTG=on&cTC=on&cTP=on&cTR=on> Thermodynamische Daten

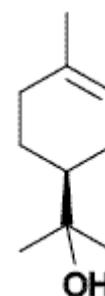
**Version:** 22. Jan 2005 um 16:02

**Autoren:** Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

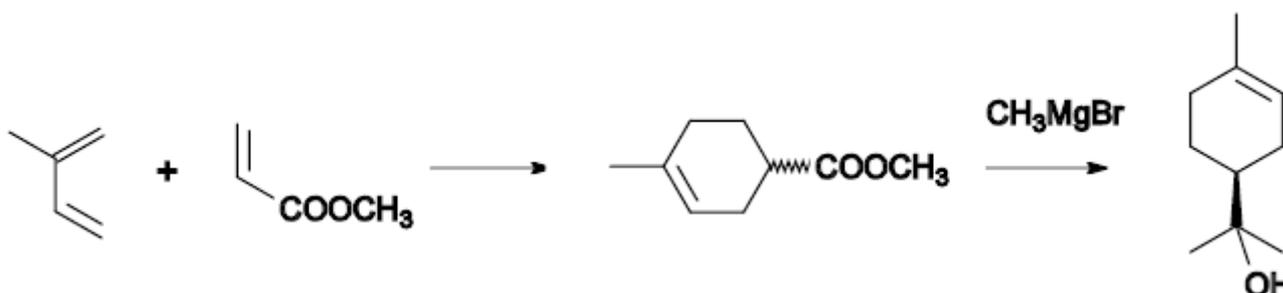
## Terpineol

**Terpineol** ist eine klare, farblose Flüssigkeit mit einem Geruch nach Flieder. Terpeneol ist ein Duftstoff, der in Seifen und Farbstoffen verwendet wird. Er kommt im Lorbeer, Rosmarin, Anis, Majoran, Salbei und Wacholder vor und findet sich auch im Terpentin. Terpeneol ist ein monocyclischer Monoterpen-Alkohol mit der Summenformel  $C_{10}H_{17}OH$ . Das Thiolderivat Thioterpineol ist der Stoff mit der geringsten bekannten Geruchsschwelle. Es gibt ein  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Terpineol.



Die Flüssigkeit siedet bei 219 °C, ihre Dichte beträgt 0,93 g/cm<sup>3</sup>. Der Flammpunkt liegt bei 90 °C. In Wasser ist das hoch viskose Terpeneol nahezu unlöslich. Der Brechungsindex beträgt 1,48.

Synthese:



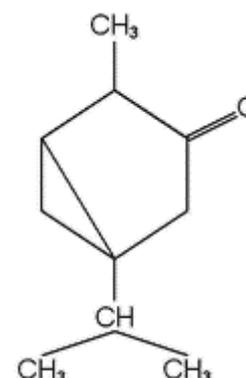
**Version:** 23. Jan 2005 um 14:24

**Autoren:** Heute, Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## Thujon

**Thujon**, auch **Absinthol**, ist ein monocyclisches Monoterpen-Keton mit der Summenformel  $C_{10}H_{16}O$ . Thujon ist eine farblose Flüssigkeit mit einem mentholartigen Geruch. Als farbloses ätherisches Öl ist Thujon unter anderem in Thuja, Thymian, Wermut, Rainfarn, Rosmarin und Heilsalbei enthalten. Die CAS-Nummer lautet 546-80-5.



## Eigenschaften

Die Flüssigkeit siedet bei 201 °C. In Wasser ist Thujon unlöslich, in Ethanol, Diethylether und Chloroform ist es gut löslich. Die Dichte beträgt 0,9109 g/cm<sup>3</sup>. Der Flammpunkt liegt 64 °C. Das Molgewicht beträgt 152,24 g/mol.

## Vorkommen

In der Wermutpflanze kommt Thujon als Gemisch der beiden Stereoisomere  $\alpha$ - und  $\beta$ -Thujon vor. Bei der Herstellung von Absinth wird Thujon aus den Blättern des Wermut (*Folia absinthii*) oder des ganzen Wermutkraut (*Herba absinthii*) extrahiert.

## Wirkungen und Gefahren

Im Absinth ist das Thujon für die angeblich euphorisierende, aphrodisierende und berauschende Wirkung des Getränks verantwortlich - zumindest nach Aussage der so genannten *Absinteure*, die dem Thujon auch eine THC-ähnliche Wirkung zuschreiben. Thujon ist gesundheitsschädlich.



Gesundheitsschädlich

Thujon wirkt in geringen Mengen psychoaktiv. In ausreichend hoher Dosierung ist Thujon ein starkes Nervengift und kann Verwirrtheit, sowie epileptische Krämpfe hervorrufen. Bei chronischem Missbrauch kann es zur Verminderung der Intelligenz führen. Dieses Krankheitsbild wird Absinthismus genannt. Die orale letale Dosis für eine Ratte liegt bei 500 mg/kg. Beim Metabolismus entsteht Thujanol und Neoisothujanol.

Diese Gefahr kann allerdings relativiert werden und ist unter Wissenschaftlern nach wie vor ungeklärt:

1. Die berauschende Wirkung kann nicht vollständig nachgewiesen werden, denn die meisten Studien zum Thema stammen aus dem vorletzten Jahrhundert und entstanden in der Atmosphäre einer Moralpanik, den Absinth betreffend.
2. Es wird eine Wechselwirkung zwischen Alkoholgehalt und Thujonresorption vermutet (je mehr Ethanol, desto niedrigere Resorption). Der Absinthismus kann also durchaus einfach auf die hohen Alkoholkonzentrationen der thujonhaltigen Getränke zurückzuführen sein.

## Weblinks

- <http://www.pzlc.uni-wuerzburg.de/Seminare/Die%20gruene%20Fee%20-%20Thujon.pdf>

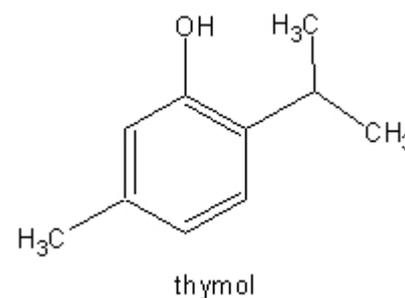
**Version:** 24. Jan 2005 um 16:29

**Autoren:** Aldipower, Baldhur, Crux, El, Fedi, Forbfruit, MAK, MartinKH, Plasmagunman, RobertLechner, Rotstift, Urizen, Van Flamm, Xvlun, Zwobot

**Bilder:** (MarkusZi, Aldipower), (BirgitLachner, Paddy, Phrood, Zinnmann)

## Thymol

**Thymol** (2-Isopropyl-5-methyl-phenol) ist, neben seinem Isomer Carvacrol, ein Bestandteil des ätherischen Öls aus Thymian, Oregano und dem Bohnenkraut. Es bildet farblose, stark riechende Kristalle aus. Die Summenformel lautet C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O. Die CAS-Nummer lautet 89-83-8. Thy-



mol kann über die Reaktion von Kresol und Propen hergestellt werden. Thymol kann zu Menthol dehydriert werden.

## Geschichte

Im alten Ägypten wurde Thymol und Carvacrol in Form von Thymianzubereitungen wegen der bakteriziden und fungiziden Eigenschaften zur Konservierung von Mumien benutzt.

Die kristalline Substanz Thymol wurde 1719 von Caspar Neumann entdeckt und im Jahre 1842 von M. Lallemand rein dargestellt und durch eine Elementaranalyse charakterisiert, welche schon das richtige Verhältnis der Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff lieferte, die diese Substanz aufbauen. Auch Friedrich Ferdinand Runge beschäftigte sich mit der Chemie dieser Substanz. Die Kristallstrukturanalyse mit der genauen Bestimmung der Atompositionen wurde erst 1980 von A. Thozet und M. Perrin publiziert.

## Eigenschaften

Der Feststoff schmilzt bei 50 °C und siedet bei 232 °C. Die Dichte beträgt 0,97 g/cm<sup>3</sup>. Der Flammpunkt liegt bei 107 °C. Die Molmasse beträgt 150,22 g/mol.

Da Thymol ein Phenolderivat ist, zeigt es das typische Verhalten von Phenol, das heißt es löst sich in Natronlauge oder Kalilauge und wird daraus durch ansäuern wieder freigesetzt. Auch in Ethanol, Ether und Chloroform ist gut löslich, in Wasser ist es nur leicht löslich. Die orale letale Dosis für eine Ratte liegt bei 980 mg/kg.

## Verwendung

Thymol zeichnet sich durch eine starke desinfizierende fungizide und bakterizide Wirkung aus und wird wegen seines angenehmen Geschmacks in Mundwässern, Zahnpasta und in 5 %iger alkoholischer Lösung zur Hautdesinfektion bzw. lokal gegen Hautpilze eingesetzt, wie z.B. als Bestandteil von Vaginalkapseln oder zur Behandlung von Mundhöhlenpilz bei AIDS-Patienten. In der Veterinärmedizin wird Thymol ebenfalls seit vielen Jahren zur Behandlung von Hautpilzinfektionen aber auch als Verdauungsförderer verwendet.

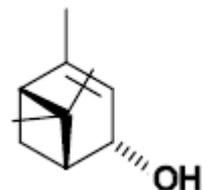
**Version:** 26. Jan 2005 um 19:47

**Autoren:** El, Fate-Man, Fedi, Fristu, Magnus, Mhaag, Raymond, Thomasgl, Van Flamm, Zwobot

**Bilder:** Mhaag

## Verbenol

**Verbenol** ist eine klare, farblose Flüssigkeit mit der Summenformel C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O. Es handelt sich um einen bicyclischen Monoterpen-Alkohol. Es findet sich im Terpentin und im Weihrauch. Verbenol ist zusammen mit dem Verbenon und Ipsdienol ein Sexualpheromon des Borkenkäfers. Die Molmasse beträgt 152,24 g/mol. Beim Verbenol tritt die cis-trans-Isomerie auf. Von jeder Form gibt es wiederum Enantiomere. Die CAS-Nummer lautet 18881-04-4.



## Literatur

- Chemie in unserer Zeit (19, 11-21, (1985)): *Pheromonaktivität von Verbenol*
- Chemical Abstracts (37, 361 (1943); 57, 16772 (1962)): *Verbenol-Darstellung*

**Version:** 26. Jan 2005 um 17:41

**Autoren:** Thiesi, Van Flamm

**Bilder:** Van Flamm

## GNU Free Documentation License

**Version 1.2, November 2002;** Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.; 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA; Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

### 0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

### 1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the

Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

## 2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

## 3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the

latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

## 4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

**A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.

**B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.

**C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.

**D.** Preserve all the copyright notices of the Document.

**E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.

**F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.

**G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.

**H.** Include an unaltered copy of this License.

**I.** Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.

**J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.

**K.** For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.

**L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.

- M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

## 5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

## 6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow

the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

## 7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

## 8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

## 9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

## 10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version,

but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this: with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free soft