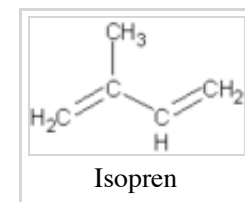




# Terpene

## aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie

Die **Terpene** sind eine stark heterogene und sehr große Gruppe von chemischen Verbindungen, die sich biosynthetisch von Isopren- beziehungsweise Isopentenyleinheiten ableiten lassen. Die Biosynthese erfolgt über aktivierte Formen dieser Moleküle, dem Dimethylallylpyrophosphat (DMAPP) und dem Isopentenylpyrophosphat (IPP). Die Einheiten bestehen aus fünf Kohlenstoffatomen (→ C<sub>5</sub>-Einheiten). Somit lässt sich die Kohlenstoffanzahl der Terpene immer durch 5 teilen (→ C<sub>5</sub>-Regel), diese Regel wurde 1922 von Leopold Ruzicka aufgestellt.



Aufgrund unterschiedlichster funktioneller Gruppen ist eine feinere Unterteilung der Terpene durch Zuordnung zu verschiedenen Stoffgruppen möglich.

Es sind über 8.000 Terpene und über 30.000 der nahe verwandten Terpenoide bekannt. Die meisten Terpene sind Naturstoffe, hauptsächlich pflanzlicher und seltener tierischer Herkunft. In der Natur kommen überwiegend 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. Sie 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 eingesetzt.

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Geschichte
- 2 Biosynthese
- 3 Eigenschaften
- 4 Gewinnung
- 5 Klassifizierung
- 6 Hemiterpene
- 7 Monoterpene
  - 7.1 Acyclische Monoterpene
  - 7.2 Monocyclische Monoterpene
  - 7.3 Bicyclische
- 8 Sesquiterpene
  - 8.1 Acyclische
  - 8.2 Monocyclische
  - 8.3 Polycyclische
- 9 Diterpene
  - 9.1 Acyclische
  - 9.2 Cyclophythane bis Tetracyclophythane
- 10 Sesterterpene
- 11 Triterpene
  - 11.1 Tetracyclische
  - 11.2 Pentacyclische
- 12 Tetraterpene
- 13 Polyterpene
- 14 Literatur
- 15 Weblinks

## Geschichte

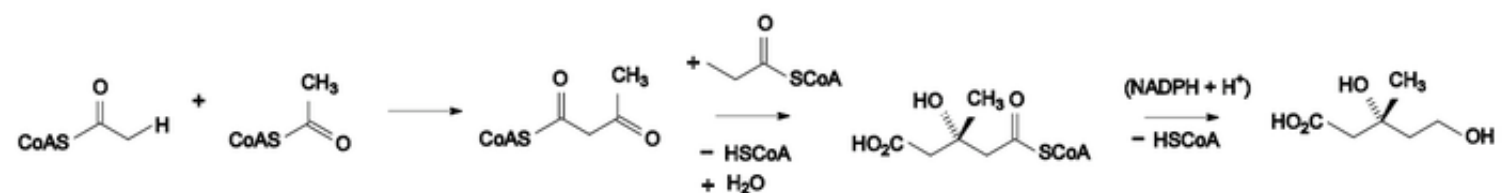
Die Terpene wurden von August Kekulé nach dem Baumharz Terpentin benannt, das neben Harzsäuren auch Kohlenwasserstoffe enthält. Ursprünglich wurden nur diese als Terpene bezeichnet, der Begriff wurde dann später erweitert und genauer spezifiziert. Wichtigste Forscher auf dem Gebiet der Terpene waren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

Früher wurden Terpene nach ihrer Herkunft benannt, was dazu führte, dass gleiche Verbindungen unterschiedliche Namen erhielten. Otto Wallach zeigte 1884, 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 ermittelt werden.

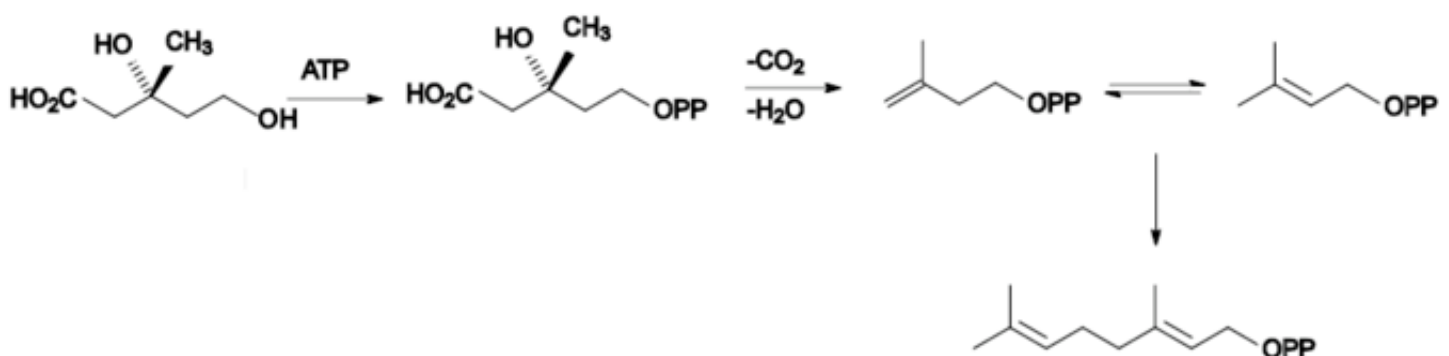
Die Biogenetische Isoprenregel wurde 1887 von Otto Wallach aufgestellt. 1922 formulierte Leopold Ruzicka dieses Kriterium unter dem Namen *Biogenetische Isoprenregel*. Feodor Lynen und Konrad Bloch beschrieben 1964 die Biosynthese der Terpene, woraufhin Feodor Lynen 1965 das Buch *Der Weg der "aktivierten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

## Biosynthese

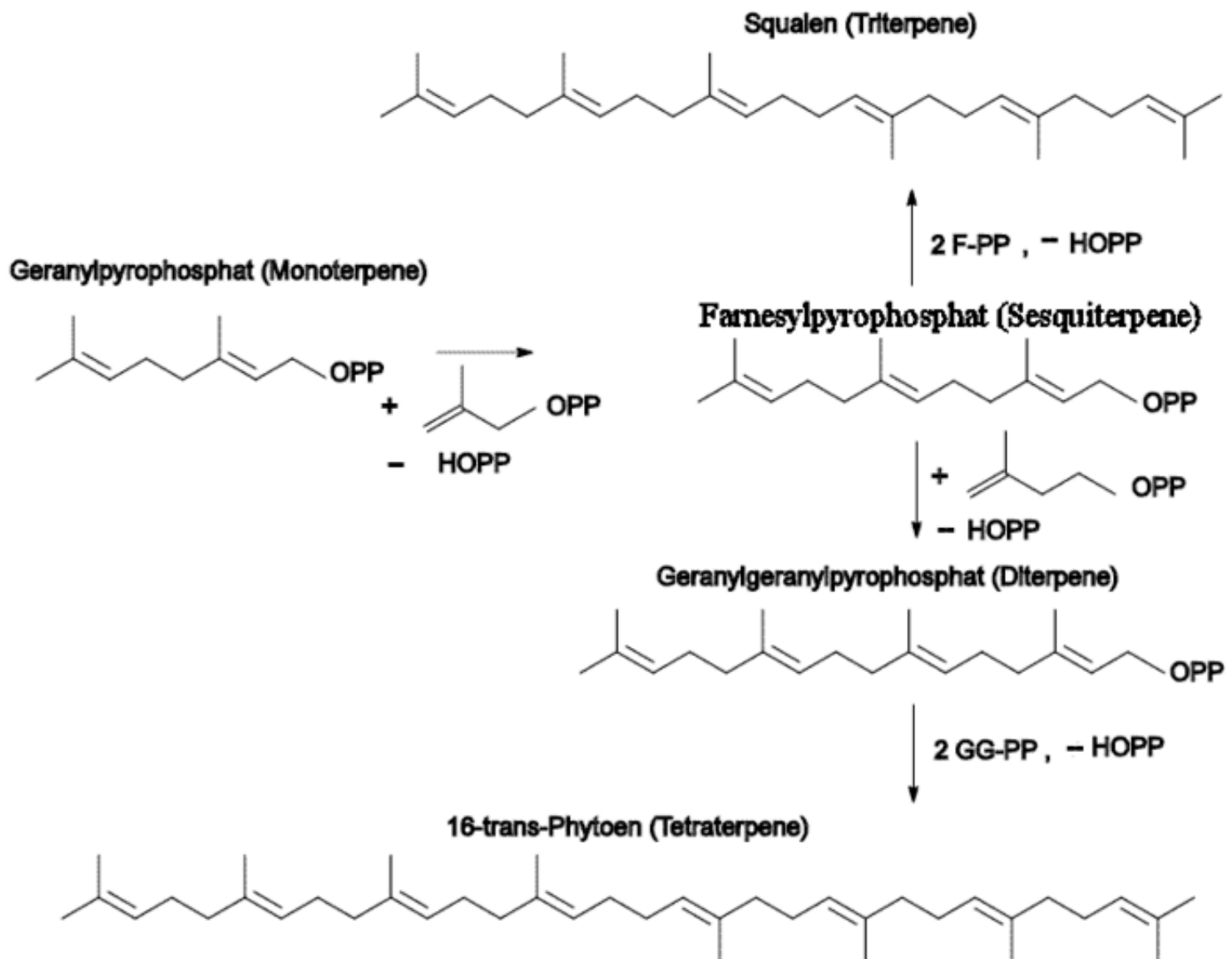
Die Herstellung der Terpene in Organismen (Biosynthese) wurde erstmalig von Feodor Lynen und Konrad Bloch verstanden und beschrieben, dabei handelt es sich um den Mevalonatbiosyntheseweg. Nach heutigen Erkenntnissen existiert in Pflanzen noch ein anderer Biosyntheseweg zum Isopentenylpyrophosphat (IPP) und zum Dimethylallylpyrophosphat (DMAPP), der sogenannte MEP(2C-Methyl-D-erythritol-4P)-pathway oder auch nach den Wissenschaftlern die daran gearbeitet haben, Rohmer- oder Arigoni-Pathway. Hierbei ist der Mevalonatbiosyntheseweg im Cytosol lokalisiert und der MEP-Biosyntheseweg in den Plastiden (Chloroplast, Leukoplast etc.). Der Austausch zwischen Substraten der beiden Stoffwechselwege ist minimal. Alle Mono- und Diterpene werden in den Plastiden synthetisiert und alle Sesquiterpene im Cytosol.



Die Biosynthese im Cytosol 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 Mevalonsäure (Mevalonat) reagiert.



Die Mevalonsäure wird durch Phosphorylierung aktiviert und es entsteht Phosphomevalonat. Durch eine weitere Phosphorylierung entsteht Pyrophosphomevalonat welches dann zu DMAPP und IPP führt. Die Endprodukte der jeweiligen Biosynthesewege, das IPP und dessen Isomer  $\gamma,\gamma$ -DMAPP, werden durch Prenyltransferasen zu den Grundgerüsten der jeweiligen Terpene verknüpft. So werden IPP und DMAPP von der Geranylpyrophosphatsynthase zum Geranylpyrophosphat (GPP) verknüpft, welches das Grundgerüst der Monoterpene ist.



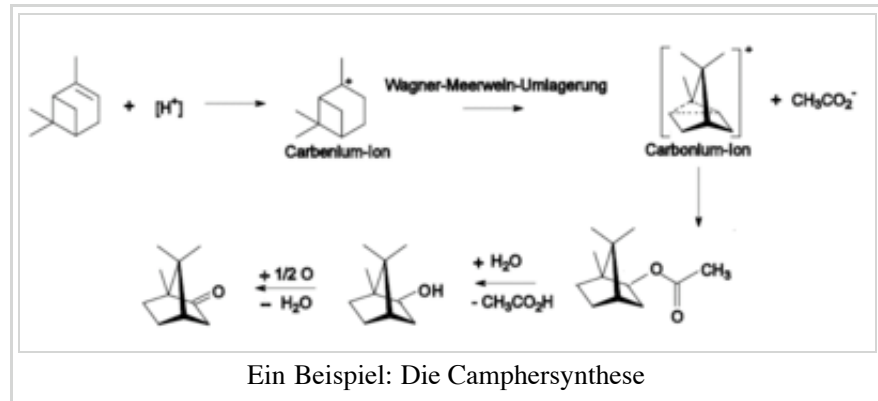
Die Farnesylpyrophosphatsynthase verknüpft 1 DMAPP und 2 IPP zum Farnesylpyrophosphat (FPP), das das Grundgerüst der cytosolischen Sesquiterpene ist. Aus zwei Einheiten Farnesylphosphat entsteht das Squalen (Squalensynthase), das Grundgerüst der Triterpene. Die plastidäre Geranylgeranylpyrophosphatsynthase verknüpft 1 DMAPP mit 3 IPP zum Geranylgeranylpyrophosphat (GGPP), das Grundgerüst der Diterpene. Das GGPP kann wiederum zum 16-trans-Phytoen reagieren, das das Grundgerüst der Tetraterpene ist. Jedes Terpen wird so über die Biosynthese dargestellt, indem die Schlüsselenzyme in der Terpenbiosynthese, die Terpensynthasen, diese Grundgerüste in die jeweiligen Terpene umwandeln.

## Eigenschaften

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

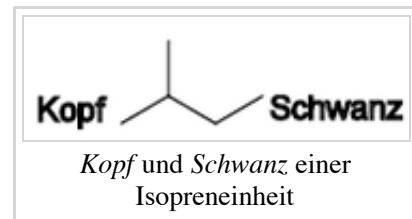
## Gewinnung

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.



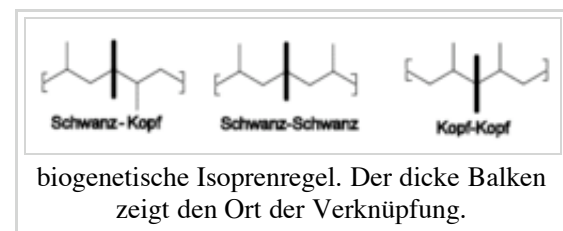
## Klassifizierung

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



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

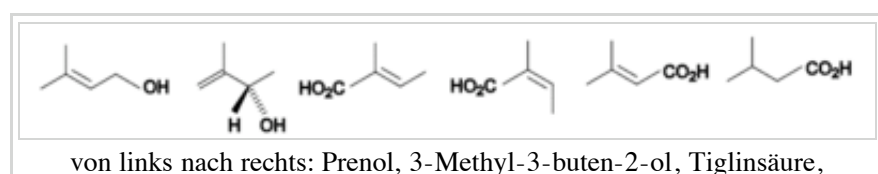
Man unterscheidet zudem, ob die Isopreneinheiten *Kopf-Schwanz*, *Kopf-Kopf* oder *Schwanz-Schwanz* verbunden sind. Dies wird Biogenetische Isoprenregel genannt. Die Seite der Isopreneinheit, an der die Methylgruppe hängt, wird *Kopf* genannt, die Seite, an der die Ethylgruppe hängt, *Schwanz*.



Die Terpene kann man in Isopreneinheiten unterteilen (jeweils immer 5 Kohlenstoffatome), die die gleiche Anzahl von Kohlenstoffatomen haben. Terpene mit 5 Kohlenstoffatomen nennt man Hemiterpene (C<sub>5</sub>), mit 10 Monoterpene (C<sub>10</sub>), mit 15 Sesquiterpene (C<sub>15</sub>), mit 20 Diterpene (C<sub>20</sub>), mit 25 Sesterterpene (C<sub>25</sub>), mit 30 Triterpene (C<sub>30</sub>) und mit 40 Tetraterpene (C<sub>40</sub>). Terpene mit mehr als 8 Isopreneinheiten, also mit mehr als 40 Kohlenstoffatomen, nennt man Polyterpene (größer als C<sub>40</sub>). Die Namen kommen von den griechischen Zahlwörtern: hemi = einhalb, mono = eins, sesqui = eineinhalb, di = zwei, ... Dabei wird die Isopreneinheit als halbes Terpen gezählt.

## Hemiterpene

Bei den Hemiterpenen ist nur eine Isopreneinheit vorhanden. Es sind nur ungefähr 25 Hemiterpene bekannt, die in der Natur äußerst selten vorkommen. Die wichtigsten Hemiterpene sind das Prenol, sowie die



Carbonsäuren Tiglinsäure, Angelicasäure, Senciosäure und Isovaleriansäure.

Angelicasäure, Seneciosäure und Isovaleriansäure.

## Monoterpene

Es sind über 900 Monoterpene bekannt. Alle werden durch Monoterpensynthasen aus Geranylpyrophosphat (2,6-Dimethyloctan) synthetisiert, dieses geschieht über eine Reihe von komplizierten organisch-chemischen Reaktionen, die dann zu der grossen strukturellen Vielfalt der Monoterpene führen. 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, die von Pflanzen in großen Mengen produziert werden. So lässt sich zum Beispiel aus einem Quadratmeter mit Nadelstreu bedecktem Waldboden bis zu ein Liter an Monoterpenen gewinnen. Sie sind mit ein Hauptgrund, warum sich Waldbrände schnell ausbreiten können. Man kann in den Bestandteilen von über 2.000 Pflanzen aus 60 verschiedenen Familien Monoterpene finden.

### Acyclische Monoterpene

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

Die Terpen-Aldehyde Neral und Geranial bilden das Racemat Citral, das zu Parfüm verarbeitet wird; z. B. werden aus Citral und Aceton durch Kondensation unter Ringschluss zwei Isomere des Ionon erhalten, die einen veilchenartigen Duft besitzen. Die Ionone sind Bausteine der Carotine und des Retinol (Vitamin A).

Citronellal wird als Insektenabwehrmittel verwendet.

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

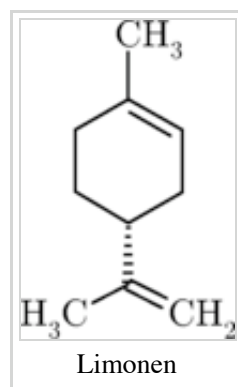
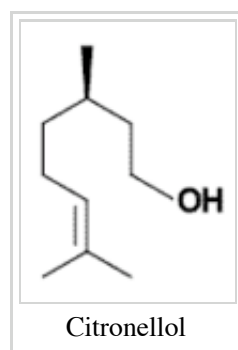
Rosenoxid und Neroloxid sind Duftstoffe des bulgarischen Rosenöls. Eine wichtige Carbonsäure ist die Geraniumsäure.

### Monocyclische Monoterpene

Die meisten monocyclischen Monoterpene, die sich vom p-Menthan ableiten lassen, weisen ein Cyclohexangerüst auf. Es gibt jedoch auch mehrere Verbindungen mit Cyclopropan- und Cyclobutangerüst (Chrysanthemumsäure Cinerin I und Chrysanthemol) oder mit Cyclopentangerüst, wie zum Beispiel Grandisol und Junionon. Der Stoff mit dem kleinsten bekannten Geruchsschwellenwert, das Thioterpineol, lässt sich hier einordnen.

Es gibt rund 200 Monoterpene mit einem Cyclopentangerüst. Sie werden in die Iridoide und Secoiridoide unterteilt. Entdeckt wurden die Verbindungen zum ersten Mal in einer Ameisenart (*Iridomyrmex*) und sind somit einige der wenigen Terpene nichtpflanzlicher Herkunft. Sie zeichnen sich durch ein Grundgerüst aus, das einen Sechs- und einen Fünfring enthält (Cyclopentanpyrangerüst). Durch Ausschleusung von Kohlenstoffmolekülen aus dem Grundgerüst entstehen Terpenoide, die nicht mehr zu den Terpenen gehören. Iridoide sind zum Beispiel Inhaltsstoffe von Mönchspfeffer-Früchten, die bei Menstruationsbeschwerden eingesetzt werden und in der bei Rheuma verwendeten Teufelskralle.

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 Monoterpen-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.

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. Ascaridol, ein Peroxid, findet sich in Gänsefuß-Arten

## Bicyclische

Die Bicyclen Caran, Thujan, Pinan, Bornan und Fenchan, aber weiter gefasst auch Isobornylan und Isocamphan sind die wichtigsten Stammverbindungen 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 kommt in Wermut vor, der zum Beispiel zu Absinth und Vermouth verarbeitet wird. Thujanol kommt im Lebensbaum-, Wacholder- und Artemisia -Arten vor. Carbonsäuren mit Caran- beziehungsweise Carengrundgerüst, 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 Kiefernspanners.

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 Derivate, treten in mehreren ätherischen Ölen auf. Fenchon und seine Diverate sind selten in ätherischen Ölen. Auch das Safrol ist ein bicyclisches Monoterpen.

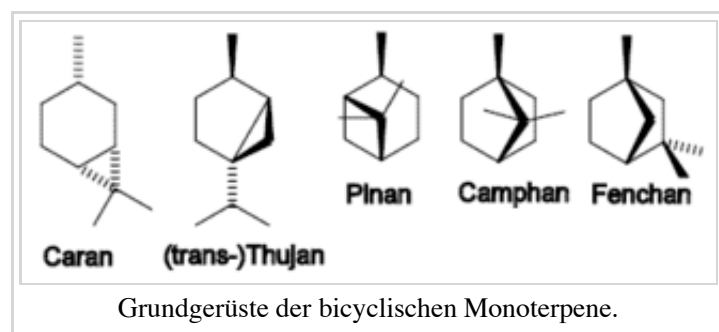
Anethofuran ist ein bicyclisches Monoterpen mit Furankörper.

## Sesquiterpene

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

## Acyclische

Farnesylpyrophosphat 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.

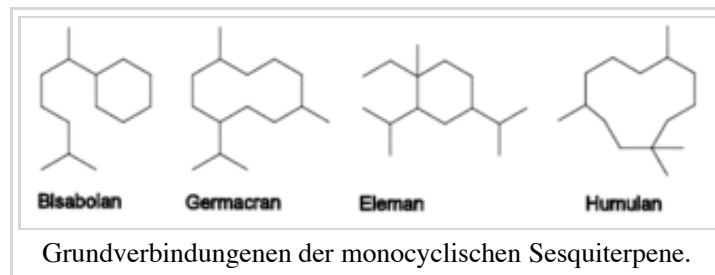


Furanoide acyclische Sesquiterpene sind Dendrolasin, Sesquirosefuran und Longifolin. Dendrolasin ist nicht nur pflanzlicher Herkunft, es kommt auch in Ameisen vor (der Name stammt von der Ameisengattung *Dendrolasius*). Die Abscisinsäure reguliert das Wachstum von Pflanzen.

## Monocyclische

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

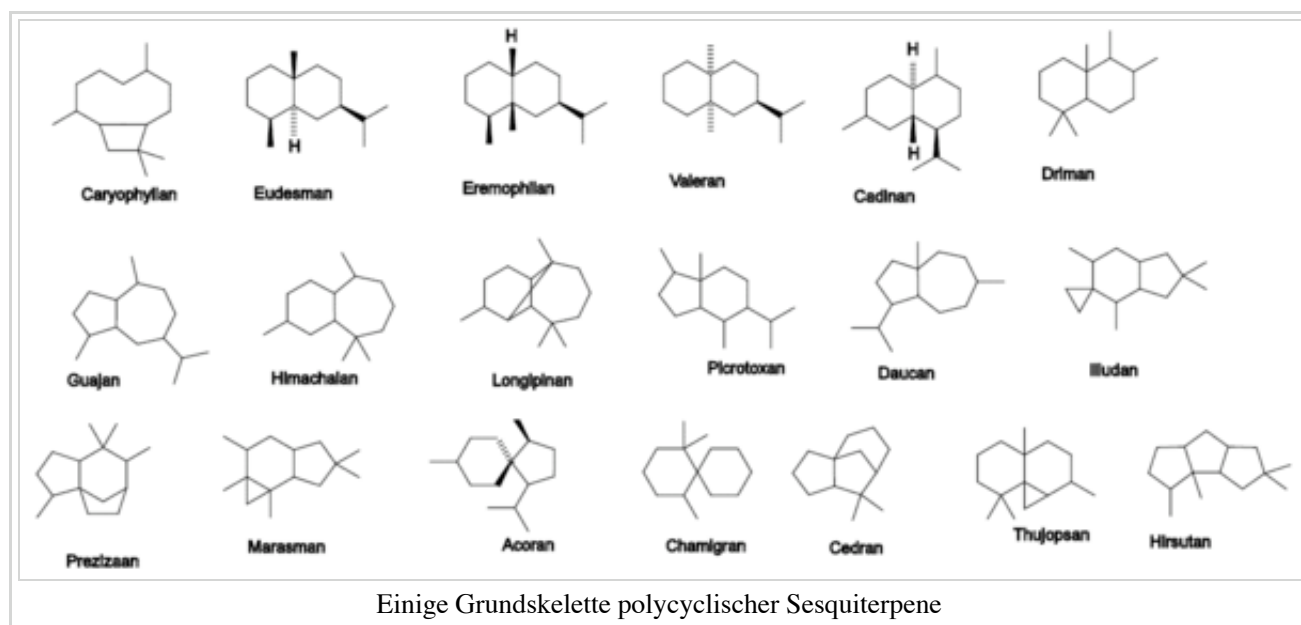
Über 100 Bisabolane kommen natürlich in Pflanzen vor. Zingiberen kommt im Ingweröl vor. Bisabolol findet sich in Scheinzypressen und Kiefernarten, Bisabolol wirkt entzündungshemmend und kommt im Öl der Kamille vor. Sesquisabinen kommt im Schwarzen Pfeffer, Sesquithujen im Ingwer vor. Die vom Germacran 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

Die meisten der Sesquiterpene sind polycyclisch.

Unter den knapp 30



Caryophyllanen ist das wichtigste der 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 Cedrol ist Geruchsstoff des Zedernöls. Hirtusane sind häufig Metaboliten von Pilzen, ein Beispiel ist die Hirsutumensäure.

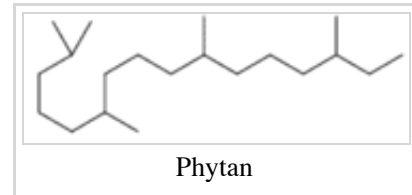
Auch gibt einige Gruppen polycyclischer Sesquiterpene, die nicht vom Farnesan abstammen.

## Diterpene

Es gibt rund 5000 bekannte Diterpene, alle Diterpene leiten sich von der Ausgangsverbindung (E,E,E)-Geranylgeranylpyrophosphat ab.

### Acyclische

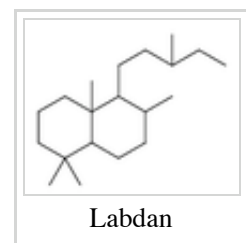
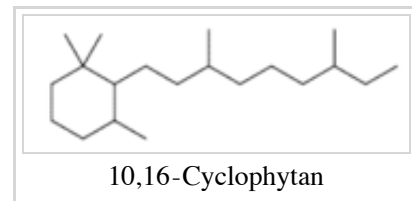
Phytan findet sich, zum Beispiel zusammen mit der Phytansäure im Ölschiefer, oder auch in der menschlichen Leber. Phytol ist ein Ester des Chlorophylls.



### Cyclophythane bis Tetracyclophythane

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

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.



Die etwa 400 Bicyclophythane 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 Kiefergewächsen, Sclareol im Salbeiarten, die Pinifolsäure in Nadel von Kiefergewächsen.

Wichtige Stammverbindungen der Tricyclophythane sind die Primarane, Cassane, Cleistanthane und Abietan. 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 Abietinsäure, Abietenol oder Palustrinsäure.

Wichtige Stammverbindungen der Tricyclophythane sind die Primarane, Cassane, Cleistanthane und Abietan. 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 Abietinsäure, Abietenol oder Palustrinsäure.

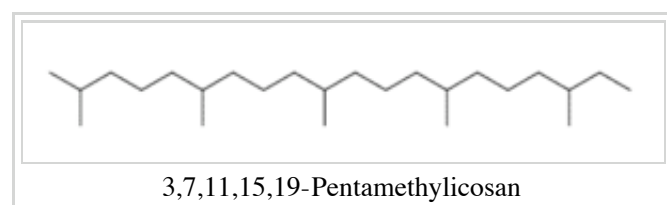
Das vom tricyclische Diterpenoid Baccatin III abgeleitete Terpen-Alkaloid Paclitaxel aus der Pazifischen Eibe wird auf Grund seiner Mitose hemmenden Wirkung auch als Zytostatikum in der Krebstherapie eingesetzt. Das ebenfalls tricyclische Forskolin wird in der Biochemie als Aktivator der Adenylylcyclase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

Auch die Tetracyclophythane 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 Terpenoide wie Gibberellinsäure beeinflussen als

Phytohormone das Pflanzenwachstum. Die Grayanotoxane, wie zum Beispiel das Leucothol C sind häufig toxisch und finden sich in vielen Blättern.

## 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

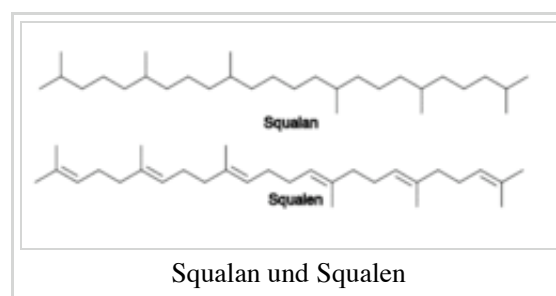


der Kartoffel. Sesterterpene mit Furankörper können aus Schwämmen isoliert werden.

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 Salvisyriacolidmethylester. Das tricyclische Sesterterpen Cheilanthatriol findet sich in Farnen. Die tetracyclischen Sesterterpene finden sich in Schwämmen und bauen hauptsächlich auf dem Sclaran auf.

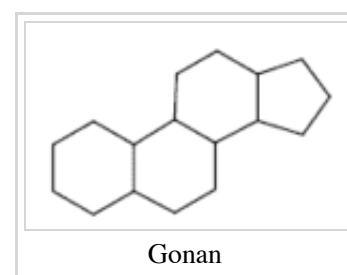
## Triterpene

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



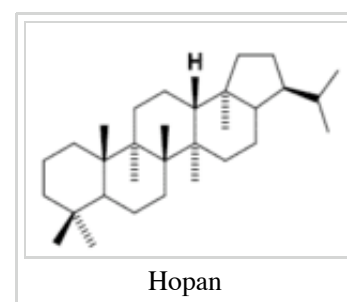
## Tetracyclische

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, 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 zum Beispiel das Simiarenol und Filicenal, das im 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. Betulin und Betulinsäure finden sich in der Rinde von Birken, letztere wirkt hemmend gegenüber HI-Viren.



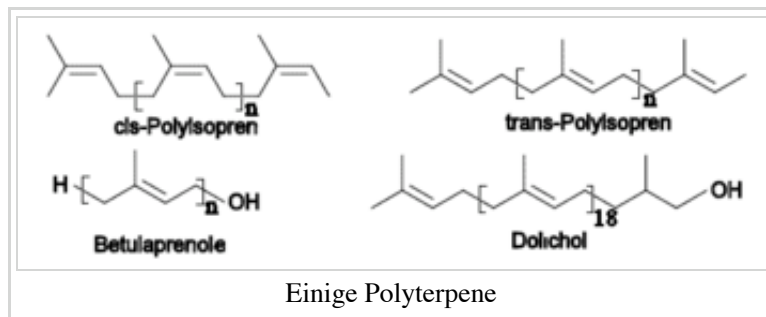
## Tetraterpene

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, nach Leopold Ruzicka Polyprene (=Polyisoprene), 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 Milchsaftes der tropischen Baumart *Palaquium gutta*. Chicle gewonnen aus dem Breiapfelbaum stellt ein 1:2 Gemisch von trans- und cis-Polyisopren dar. Dolichol findet sich in endokrinen Organen, auch Betulaprenole sind Polyterpene.



Prenylchoinone sind Terpenoide mit bis zu 10 Isopreneinheiten, unter ihnen finden sich Vitamin K<sub>1</sub> und K<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

 **Commons: Gallery Terpenes** ([http://commons.wikimedia.org/wiki/Gallery\\_Terpenes?uselang=de](http://commons.wikimedia.org/wiki/Gallery_Terpenes?uselang=de)) – Bilder, Videos und/oder Audiodateien

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

 Dieser Artikel wurde in die Liste der Lesenswerten Artikel aufgenommen.

Von „<http://de.wikipedia.org/wiki/Terpene>“

Kategorien: Lesenswert | Stoffgruppe | Terpen

- Diese Seite wurde zuletzt am 20. Dezember 2006 um 04:58 Uhr geändert.
- Ihr Inhalt steht unter der GNU-Lizenz für freie Dokumentation. Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.
- Datenschutz
- Über Wikipedia
- Impressum