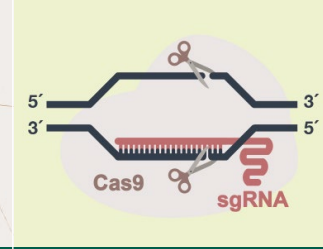


SONDERDRUCK
aus

2 | 2024

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



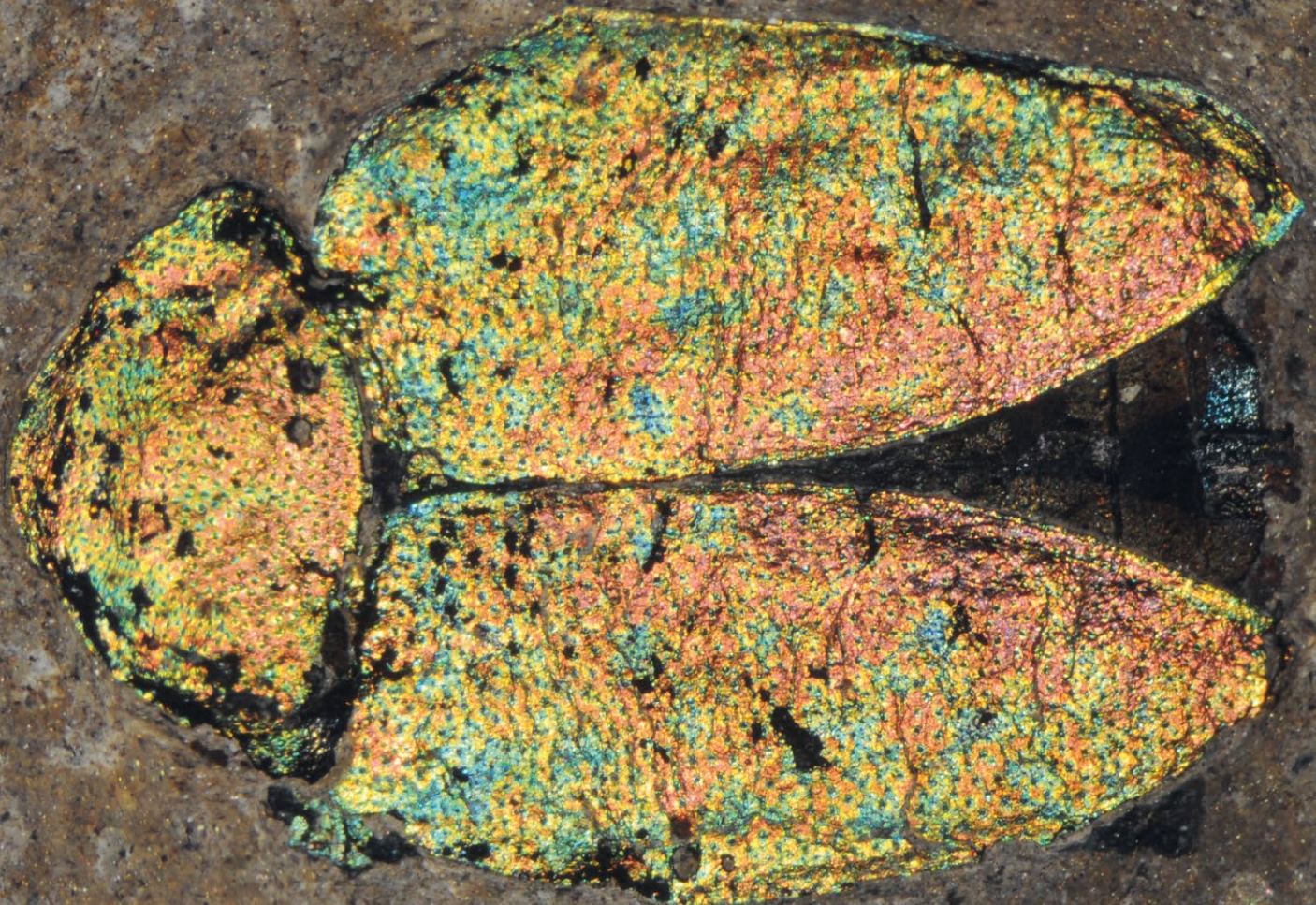
ÖKOLOGIE
Umwelt-DNA aus der
Vergangenheit

ALGENFORSCHUNG
Nathanael Pringsheims
sexuelle Revolution

**PFLANZEN-
ZÜCHTUNG**
Innovationen durch
Genom-Editierung

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

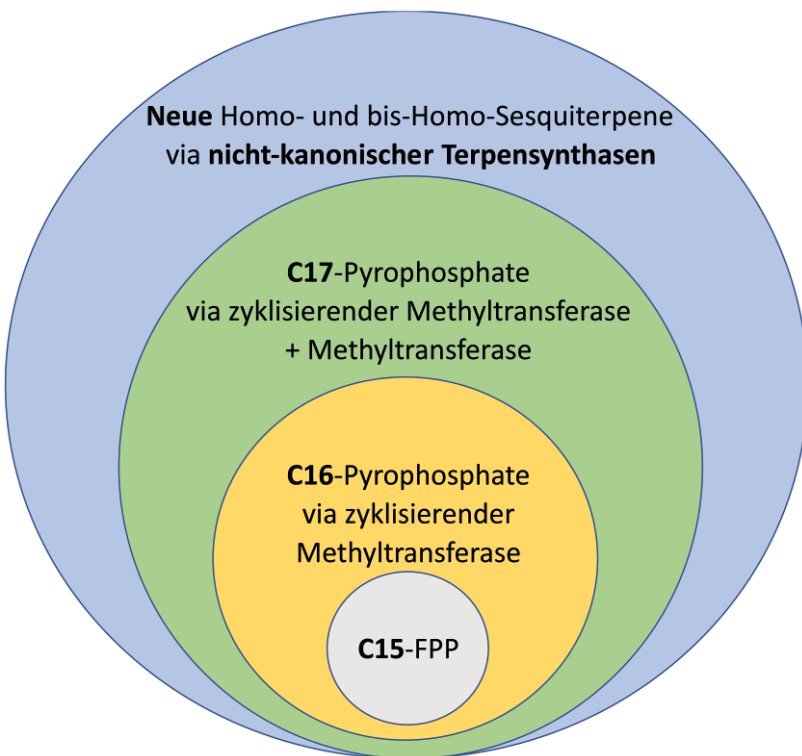


**Fossile Insekten
aus der Grube Messel**

Eine neue Biosyntheseroute erweitert das bakterielle Terpen-Portfolio

Irreguläre Terpene in Bakterien

BIRGIT PIECHULLA | NANCY SCHMIDT | MARIE-CHANTAL LEMFACK | STEPHAN VON REUSS



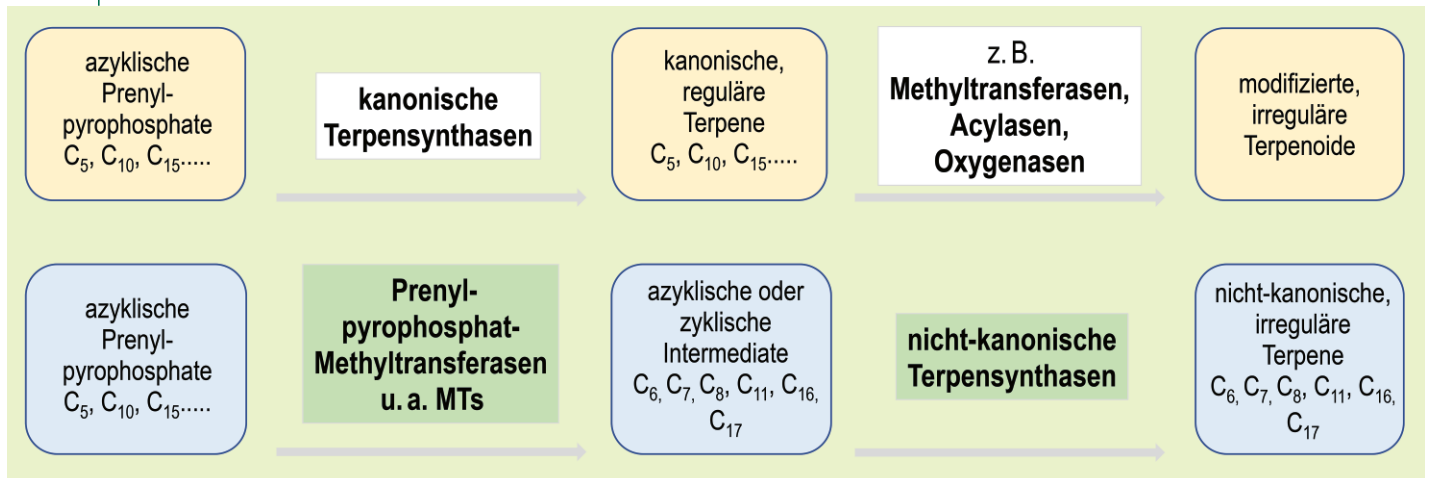
Die Wissenschaft sucht seit Langem immer neue Terpene/Terpenoide; man spricht von neuen *spaces of terpenoids*. Diese neuen Räume werden durch neue Biosynthesewege via zyklisierender Methyltransferasen und nicht-kanonischer Terpensynthesen eröffnet und sind hier als Kreise dargestellt.

Für die Bildung irregulärer C₁₆- und C₁₇-Homo- und -bis-Homo-Sesquiterpen-Verbindungen in Bakterien sind zwei Enzyme mit ungewöhnlichen katalytischen und substratspezifischen Eigenschaften verantwortlich. Einerseits sind dies ►bifunktionelle FPP-Methyltransferasen mit Zyklisierungsaktivität und andererseits Terpensynthesen, die nur zyklische Prenylpyrophosphate akzeptieren. Durch diese Biosynthesevariante wird die Vielfalt natürlich vorkommender Terpene erhöht.

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 188 erklärt.

Mit ca. 80.000 Substanzen sind die Terpene die größte und vielfältigste Naturstoffklasse [1]. Dazu gehören hochkomplexe Verbindungen wie Kautschuk, Cholesterin, Steroidhormone, Carotinoide, Gibberelline, Humulen und pflanzliche Geruchsstoffe wie Caryophyllen, Menthol, Limonen, Geraniol, Linalool und Pinen. Die chemischen Strukturen dieser Verbindungen sind sehr divers, obwohl ihnen ein gemeinsamer Biosyntheseweg zugrunde liegt. Die Entdeckung dieses Biosynthesepinzips geht auf die Isoprenregel von Otto Wallach [2] und Leopold Ruzicka [3] zurück. Diese beiden Forscher hatten erkannt, dass die C₅-Grundbausteine Isopentenylpyrophosphat (IPP) und Dimethylallylpyrophosphat (DMAPP) zu ►Prenylpyrophosphat-Intermediaten wie Geranylpyrophosphat (GPP, C₁₀), Farnesylpyrophosphat (FPP, C₁₅) und Geranylgeranylpyrophosphat (GGPP, C₂₀) zusammengefügt werden. Die C₅-Grundbausteine werden durch den Mevalonat- oder durch den MEP/DOXP-Weg generiert [4]. Durch Kopf-Schwanz-, Kopf-Mittel- und Kopf-Kopf-Reaktionen entstehen dann verschiedene Intermediate; jedoch trägt diese begrenzte Anzahl von Prenylpyrophosphat-Strukturen kaum zur hohen Diversität der Terpenoide bei. Die Terpen-Produktvielfalt ist einerseits auf die außergewöhnlichen Eigenschaften der Terpensynthesen zurückzuführen, die z. B. aus einem Substrat jeweils mehrere Produkte herstellen können (► Multiproduktenzyme). Andererseits wird die Produktpalette durch nachgeschaltete Modifikationen durch sogenannte dekorierende Enzyme wie Cytochrom-P450-Oxygenasen, Dehydrogenasen, Methyltransferasen, Acylasen und Glucosyltransferasen, enorm erweitert (Abbildung 1).

Terpensynthesen sind außergewöhnliche Enzyme, weil die Anzahl der Produkte oft ein Vielfaches der akzeptierten Substrate übersteigt und weil sie viele unterschiedlich zyklisierte Produkte herstellen können, was die spezifischere Namensgebung Terpenzyklen rechtfertigt. Die Terpen-Zyklisierungsreaktionen sind eine der komplexesten Reaktionen, die die Natur vorzuweisen hat. Im Durchschnitt verändert ca. die Hälfte der Kohlenstoffatome eines Substrates ihre Bindung, Hybridisierung und Stereochemie während der Multistep-Zyklisierungskaskaden, wobei unterschiedliche ►Carbokation-Intermediate entstehen. Aufgrund der initialen Carbokation-Bildung werden zwei Klassen von Terpensynthesen unterschieden: Klasse-I-Terpenzyklen nutzen ein Metallcluster (meistens drei

ABB. 1 | KLASSISCHE UND NICHT-KANONISCHE TERPENBIOSYNTHESE


Über Organismenreiche hinweg verbreitete klassische Terpenbiosynthese (oben) und die nicht-kanonische Terpenbiosynthese (unten), die bisher nur in Bakterien nachgewiesen wurde. Grün hervorgehoben sind die besonderen Enzyme des nicht-kanonischen Biosyntheseweges.

Mg-Ionen), um eine Ionisierung unter Bildung eines Allylkations zu initiieren, während die Klasse-II-Enzyme säurebasierend die terminale Doppelbindung protonieren. Beide Enzymklassen unterscheiden sich bezüglich der Position der aktiven Taschen: Bei Klasse-I-Enzymen liegt die aktive Tasche in der Mitte eines Bündels von α -Helices (*alpha-fold*), während sich die der Klasse-II-Enzyme an der Phasengrenze zweier α -Helix-Domänen – genannt β und γ – befindet. Die typischen Substrate der Terpensynthasen sind IPP, GPP, NPP (Neryl-IPP, *cis*-Isomer des GPP), *E*- und *Z*-FPP, GGPP, GFPP (Geranyl-farnesylpyrophosphat), NNPP (Neryl-nerylpyrophosphat, *cis*-Isomer von GGPP). Bei allen handelt es sich um azyklische Substrate.

Methylierung von Prenylpyrophosphaten

2008 entdeckten Wang und Cane [5] und Komatsu et al. [6], dass auch 2-Methyl-GPP, d. h. ein C_{11} -Substrat, von Terpensynthasen aus *Streptomyces coelicolor* akzeptiert wird, um daraus 2-Methylisoborneol und 2-Methylenbornan zu bilden. Nachfolgend wurde eine SAM-abhängige Methyltransferase, die GPP methyliert, charakterisiert [7]. Erst zehn Jahre später wurde gezeigt, dass es weitere, auf Prenylphosphate spezialisierte Methyltransferasen gibt, nämlich eine FPP-Methyltransferase aus *Serratia plymuthica* [8] und eine IPP-Methyltransferase aus *Streptomyces monomycini* [9]. Gegenüber den Enzymen aus *Streptomyces* war die FPP-Methyltransferase des γ -Proteobakteriums *Serratia* außergewöhnlich, weil sie neben der Methylierungsreaktion ein zyklisiertes Produkt bildete, d. h. sie ist ein bifunktionelles Enzym [10, 11]. Aufgrund dieser Zyklisierungsreaktion wurde dieses Enzym von Rudolf und Chang [12] auch als ‚maskierte‘ Terpenzyklase bezeichnet. Diese FPP-Methyltransferase von *Serratia plymuthica* 4Rx13 katalysiert den ersten entscheidenden Schritt der Sodorifen-Biosynthese (Abbildung 2).

Sodorifen-Biosynthese bei *Serratia plymuthica*

Sodorifen ist eine polymethylierte, bicyklische Verbindung ohne Heteroatome und wurde bisher nur in *Serratia plymuthica*-Isolaten nachgewiesen. Die Summenformel $C_{16}H_{26}$ deutet bereits auf eine Methylierung des Substrats C_{15} -FPP hin, was sich im Zuge der Aufklärung des Biosyntheseweges auch bestätigte (Abbildung 2). Die Methylierung erfolgt am C_{10} des FPP, so dass zusätzlich eine Zyklisierungsreaktion durch die FPP-Methyltransferase möglich wird [10]. Es entsteht ein charakteristischer C_5 -Ring im \blacktriangleright Presodorifen-Pyrophosphat. Auf dieses Zwischenprodukt hat sich die nachfolgende Terpensynthase (Sodorifen-Synthase) spezialisiert, d. h. sie akzeptiert nur dieses zyklisierte Intermediat, jedoch nicht das typische azyklische Substrat FPP der üblichen Terpensynthasen. Somit ist die Sodorifen-Synthase das erste Beispiel eines neuen Terpensynthase-Typs, d. h. einer nicht-kanonischen Terpensynthase, deren aktive Tasche zyklische Substrate akzeptiert. Bisher war nur die *ent*-Copalylpyrophosphat-Synthase von *Arabidopsis thaliana* und *Bradyrhizobium japonicum* bekannt, die ein multizyklisches Substrat der frühen Biosynthese des Gibberellins nutzt. Die Reaktionen der Copalylpyrophosphat-Synthase und Sodorifen-Syn-

IN KÜRZE

- Terpene (Terpenoide) sind die **größte Naturstoffgruppe**.
- Der **klassische universelle Biosyntheseweg** der Terpenoide basiert auf der Isoprenregel, d. h. Verknüpfung von C_5 -Einheiten liefern C_{10} , C_{15} , C_{20} etc. -Intermediate, die durch Terpensynthasen umgesetzt werden.
- Die neue Route basiert auf vorgeschalteten Methylierungen, die zur Bildung von C_{16} - und C_{17} -(zyklischen)-Intermediaten führt, die dann durch **nicht-kanonische spezifische Terpensynthasen** zu \blacktriangleright Homo- und \blacktriangleright bis-Homo-Sesquiterpenen umgesetzt werden.
- Durch die **neue Route** wird die Produktvielfalt erhöht.
- Dieser neue Biosyntheseweg ist in **β - und γ -Proteobakterien** und in **Aktinobakterien** realisiert.

thase unterscheiden sich jedoch deutlich: Erstgenannte nutzt eine aliphatische Kette, um einen Ring zu schließen, während die Sodorifen-Synthase eine hoch komplizierte und einmalige Reaktion durchführt, indem der C₅-Ring des Presodorifen-Pyrophosphats zunächst geöffnet wird, damit ein neuer C₅- und C₆-Ring entstehen kann [8, 13].

Das Zusammenspiel der FPP-Methyltransferase mit der Sodorifen-Synthase aus *S. plymuthica* ist ein erstes Beispiel, das zeigt, dass eine vorgeschaltete Methyltransferase Produkte entstehen lässt, die spezialisierte nicht-kanonische Terpensynthasen nutzen können, um neue Naturstoffe (Homo-Sesquiterpene) bilden zu können. Mit diesem Beispiel wurde eine neue Route, die zur Erhöhung der zyklischen Terpen-Vielfalt beiträgt, aufgezeigt (Abbildung 1).

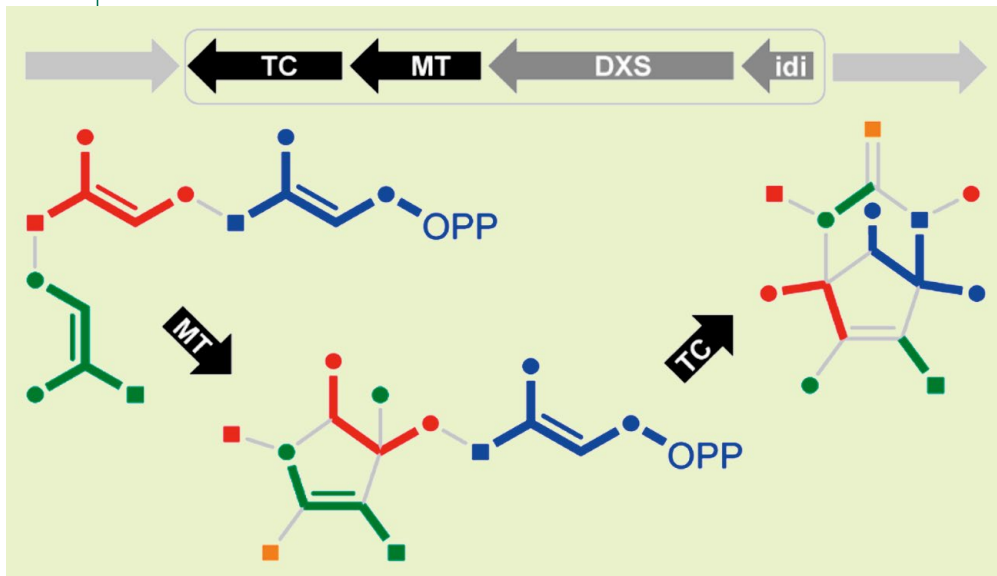
Inzwischen konnten Duan et al. zeigen, dass die C₁₆-basierte Terpen-Biosynthese in Bakterien weit verbreitet ist: Es konnten 13 Substanzen mit neuen zyklischen Strukturen nachgewiesen werden [14]. Im weiteren Sinne kann auch die Bildung des gegen Trypanosomen wirksamen Homo-Terpenoids Longestin (C₆₁H₈₈O₁₇) aus *Streptomyces argenteolus* zu dieser neuen Biosynthesevariante gruppiert werden, welches aus (3Z)-3-Methyl-IPP und IPP-Verlängerungseinheiten durch eine GGPP-Synthase gebildet wird [15].

Chlororaphen-Biosynthese bei *Pseudomonas chlororaphis* und *Variovorax boronicumulans*

Die Sequenzierung des Genoms von *Serratia plymuthica* 4Rx13 zeigte, dass die beiden Gene – für die FPP-Methyltransferase und die Sodorifen-Synthase – nebeneinander in einem gemeinsamen Gencluster vorkommen [16]. Das Merkmal des gemeinsamen Vorkommens der Gene in Operons wurde für eine Analyse von bekannten Bakteriengenomen herangezogen, um andere Bakterienspezies mit der potenziellen Fähigkeit zur Biosynthese von Homo-Sesquiterpenen zu finden. Im γ -Proteobakterium *Pseudomonas chlororaphis* O6 und β -Proteobakterium *Variovorax boronicumulans* PHE5-4 wurden zu *Serratia*-Genen verwandte Gene gefunden (Abbildung 3). Die Gene aus *P. chlororaphis* und *V. boronicumulans* wurden kloniert, in *E. coli* heterolog exprimiert, isoliert und in Enzymassays eingesetzt. Die entsprechenden Produkte der Enzymassays wurden einer Gaschromatografie-Massenspektroskopie-(GCMS)-Analyse unterzogen. In den Chromatogrammen und Massenspektren wurden interessanterweise ähnliche, aber nicht identische Produkte wie bei der Sodorifen-Biosynthese entdeckt. Weitere Analysen – insbesondere durch NMR-Spektroskopie (Kern-Spin-Resonanz-Spektroskopie) – ermöglichten die Strukturauflösung der chemischen Verbindungen und damit konnte wiederum ein neuer Biosyntheseweg, der in *P. chlororaphis* und *V. boronicumulans* vorkommt, nachgewiesen werden.

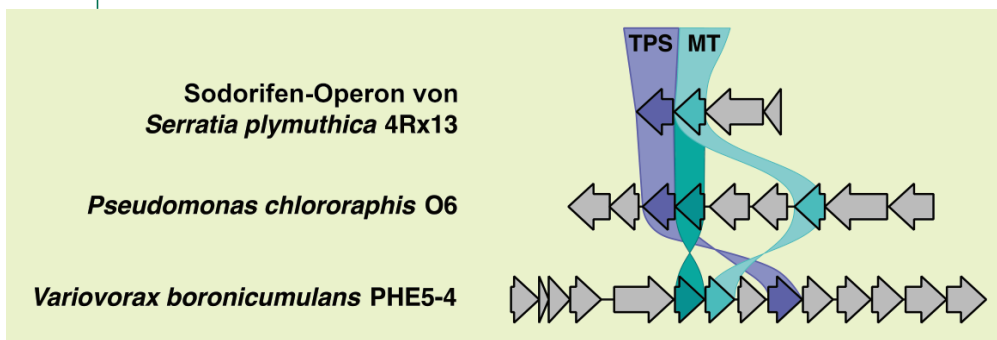
Das Endprodukt dieses neuen Weges wurde Chlororaphen genannt und ist der erste Nachweis für das natürliche Vorkommen von Brexan-Typ-bis-Homo-Sesquiterpenen (C₁₇H₂₈).

ABB. 2 | SODORIFEN-BIOSYNTHESE



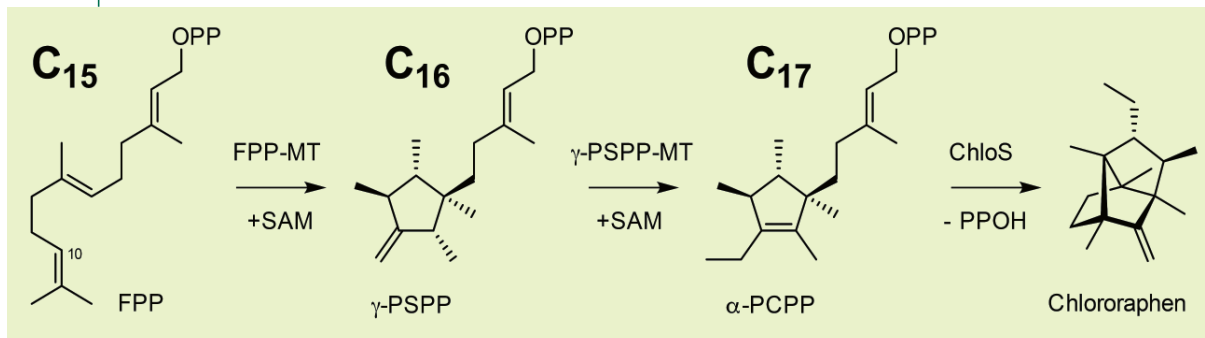
Sodorifen-Gencluster mit vier Genen in *Serratia plymuthica* 4Rx13; TC: Terpenzyklase, MT: FPP-Methyltransferase, DXS: Desoxyxylulose-Synthase, IDI: IPP-Isomerase (oben). Biosyntheseweg des Sodorifens. In Blau, Rot und Grün sind die Kohlenstoffatome der drei C₅-Einheiten des FPP dargestellt, orange: Kohlenstoffatom der Methylierung am C₁₀ des FPP durch die FPP-Methyltransferase (unten). Die TC rearrangiert das zyklische C₁₆-Intermediat zu einem bicyklischen Produkt. Abb. aus [8].

ABB. 3 | GENCLUSTER FÜR DIE HOMO-SESQUITERPEN-SYNTHESE



Vergleichende Anordnung der FPP-Methyltransferasen (MT) und Terpensynthasen (TPS) in den Genclustern von *Serratia plymuthica* 4Rx13, *Pseudomonas chlororaphis* O6 und *Variovorax boronicumulans* PHE5-4.

ABB. 4 | BIOSYNTHESE VON CHLORORAPHEN



Im Biosyntheseweg zum Chlororaphen, der in *Pseudomonas chlororaphis* O6 und *Variovorax boronicumulans* PHE5-4 realisiert ist, wird FPP zunächst am C₁₀ durch eine FPP-C-Methyltransferase methyliert und zyklisiert. Das C₁₆-Intermediat (γ-Presodorifen-Pyrophosphat, γ-PSPP) wird danach nochmals methyliert zum C₁₇-Intermediat (α-Prechlororaphen-Pyrophosphat, α-PCPP). Dieses C₁₇-Intermediat wird durch die Chlororaphen-Terpensynthase (ChloS) zum finalen bis-Homo-Sesquiterpen Chlororaphen umgewandelt. Es ist der erste Nachweis einer natürlich vorkommenden Brexan-Verbindung. Abb. aus [16].

Die Summenformel deutet schon an, dass FPP zweimal zu einem C₁₇-Molekül methyliert wird (Abbildung 4). Der erste Schritt der Biosynthese des Chlororaphens ist fast identisch mit der FPP-Methyltransferase-Reaktion zum C₁₆-Presodorifen-Pyrophosphat der Sodorifen-Biosynthese. Anschließend erfolgt in *P. chlororaphis* und *V. boronicumulans* eine weitere Methylierung durch eine zweite Methyltransferase zum C₁₇-Prechlororaphen. Diese zweite Methyltransferase katalysiert dabei eine klassische Methyltransferase-Reaktion, was zu einer Verlängerung der Seitenkette führt, aber keine weitere Zyklisierungsreaktion nach sich zieht. Damit unterscheiden sich beide an der Chlororaphen-Biosynthese beteiligten Methyltransferasen funktionell; sie sind auch distinkt in ihren Aminosäuresequenzen und nur entfernt miteinander verwandt.

Ausblick

Die Terpen-Biosynthese bleibt spannend! Es kann derzeit nur spekuliert werden, ob es neben der vorgeschalteten Methylierung noch andere vorgeschaltete Modifikationsschritte der Prenylpyrophosphate gibt. Es wird auch interessant sein, die nicht-kanonischen Terpensynthasen systematisch zu untersuchen, z. B. wann sie entstanden sind und inwieweit sie sich von den klassischen Terpensynthasen ableiten lassen, oder ob sie eine neue Linie in der Evolution der Terpensynthasen darstellen, die sich auf die Verwendung sehr distinkter Substrate spezialisiert haben.

Da bisher erst eine geringe Anzahl von Bakterienspezies und -isolaten untersucht wurde, kann eine große Vielfalt an neuen Terpenverbindungen und Biosynthesewegvarianten vermutet werden, die im großen Reich der Bakterien auf der Erde (geschätzte 10¹² Bakterienspezies) vorkommen und in Zukunft systematisch isoliert und identifiziert werden könnten. Dies bietet mit Sicherheit Potenzial für die Entwicklung neuer Leitstrukturen für Medikamente und Antibiotika und die Entdeckung ungewöhnlicher katalytischer Reaktionen.

Zusammenfassung

Die Sodorifen- und Chlororaphen-Biosynthese zeigen eindrucksvoll, dass sich in Bakterien ein weiterer Weg der Terpenbiosynthese etabliert hat, der zu neuen, bisher unbekanntem Naturprodukten führt. Für diese Biosynthesen sind vor allem die Eigenschaften zweier Enzyme, die der bifunktionellen SAM-abhängigen FPP-Methyltransferase mit zyklisierender Enzymaktivität und die einer Terpensynthase mit abweichender Substratazeptanz, als essentiell hervorzuheben. Es wurde somit eine von der C₅-basierenden Isoprenregel abweichende Möglichkeit der Modifizierung der klassischen Prenylpyrophosphat-Substrate zu C₁₆- oder C₁₇-zyklisierten Substraten dokumentiert und führt damit zur Erweiterung oder Modifikation des 136 Jahre alten Isoprenogmas.

Summary

Irregular terpenes: A new biosynthetic pathway expands the terpene portfolio in bacteria

The biosyntheses of sodorifen and chlororaphen demonstrate impressively that in bacteria an additional way of terpene biosynthesis was established which results in the production of new – so far unknown – natural terpene products. For these biosynthetic pathways, especially the properties of two specialized enzymes are responsible. This is on the one hand a bifunctional SAM-dependent FPP-methyltransferase with cyclase activity and on the other hand a terpene synthase with altered substrate specificity. Thus, it has been documented that – deviating from the C₅ unit-dependent isoprene rule – there is another possibility of modifying classical prenyl pyrophosphates to C₁₆ or C₁₇ cyclized substrates. Subsequently, the 136-year-old isoprene dogma has to be expanded or modified.

Schlagworte:

Serratia, *Pseudomonas*, *Variovorax*, Methyltransferase, Terpensynthase, Sodorifen, Chlororaphen, bifunktionale Enzyme, Multiproduktenzyme, Zyklisierung

GLOSSAR

Bifunktionelle FFP-Methyltransferasen: bifunktionelle Enzyme können zwei unterschiedliche Reaktionen katalysieren, hier: Methylierung und Zyklisierung.

bis-Homo-Sesquiterpene: siehe Sesquiterpene.

Homo-Sesquiterpene: siehe Sesquiterpene.

Carbokation: ein positiv-geladenes und besonders reaktives Kohlenstoffion (C^+).

Multiproduktenzyme: können aus einem Substrat mehrere Produkte mit unterschiedlichen Strukturen simultan bilden.

Prenylpyrophosphate: z. B. Isopentenylpyrophosphat (IPP, C_5), Dimethylallylpyrophosphat (DMAPP, C_5), Geranylpyrophosphat (GPP, C_{10}), Farnesylpyrophosphat (FPP, C_{15}), Geranylgeranylpyrophosphat (GGPP, C_{20}) und weitere um C_5 -Einheiten verlängerte Moleküle.

Presodorifen-Pyrophosphat: das Produkt der FPP-Methyltransferase und damit das Substrat für die Sodorifen-Synthase.

Sesquiterpene: Verbindungen aus drei Isopreneinheiten. Sie werden aus Farnesylpyrophosphat (FPP) gebildet (C_{15}). Homo- und bis-Homo-Sesquiterpene werden nachfolgend derivatisiert. Sodorifen und Chlororaphen sind entsprechende Beispiele.

Literatur

- [1] D. W. Christianson (2017). Structural and chemical biology of terpenoid cyclases. *Chem Rev* 117, 11570–11648.
- [2] O. Wallach (1887). Zur Kenntnis der Terpene und ätherischen Oele. *Justus Liebig's Annalen der Chemie* 238, 78–89.
- [3] L. Ruzicka (1953). The isoprene rule and the biogenesis of terpenic compounds. *Experientia* 9, 357–367.
- [4] H. Lichtenthaler et al. (1997). Biosynthesis of isoprenoids in higher plant chloroplasts proceeds via a mevalonate-independent pathway. *FEBS Lett* 400, 271–274.
- [5] C. M. Wang, D. E. Cane (2008). Biochemistry and molecular genetics of the biosynthesis of the earthy odorant methylisoborneol in *Streptomyces coelicolor*. *J Am Chem Soc* 130, 8908–8909.
- [6] M. Komatsu et al. (2008). Identification and functional analysis of genes controlling biosynthesis of 2-methylisoborneol. *Proc Natl Acad Sci USA* 105, 7422–7427.
- [7] M. Köksal et al. (2012). Structure of geranyl diphosphate C-methyltransferase from *Streptomyces coelicolor* and implications for the mechanism of isoprenoid modification. *Biochemistry* 51, 3003–3010.
- [8] S. von Reuss et al. (2018). Sodorifen biosynthesis in the rhizobacterium *Serratia plymuthica* involves methylation and cyclization of MEP-derived farnesyl pyrophosphate by a SAM-dependent C-methyltransferase. *J Am Chem Soc* 140, 11855–11862.
- [9] L. Drummond et al. (2019). Expanding the isoprenoid building block repertoire with an IPP methyltransferase from *Streptomyces monomyctini*. *ACS Syn Biol* 8, 1303–1313.
- [10] M. C. Lemfack et al. (2021). Reaction mechanism of the farnesyl pyrophosphate C-methyltransferase towards the synthesis of pre-sodorifen pyrophosphate by *Serratia plymuthica* 4Rx13. *Sci Rep* 11, 3182.
- [11] B. Piechulla et al. (2021). A new family of methyltransferases provide non-canonical substrates for terpene synthases in bacteria. *FEMS Mic Rev*, fuab024.
- [12] J. D. Rudolf, C.-Y. Chang (2020). Terpene synthases in disguise: enzymology, structure, and opportunities of non-canonical terpene synthases. *Nat Prod Rep* 37, 425–463.
- [13] H. Xu et al. (2023) Fragmentation and (4+3) cycloaddition in sodorifen biosynthesis. *Nat Chem* 15, 1164–1171.
- [14] Y. T. Duan et al. (2024). Widespread biosynthesis of 16-carbon terpenoids in bacteria. *Nature chemical biology*, <https://doi.org/10.1038/s41589-023-01445-9>
- [15] T. Ozaki et al. (2018). Enzymatic formation of a skipped methyl-substituted octaprenyl side chain of Longestin (KS-505a): Involvement of homo-IPP as a common extender unit. *Ang Chem Int Ed Engl* 57, 6629–6632.
- [16] D. Domik et al. (2016). A terpene synthase is involved in the synthesis of the volatile organic compound sodorifen of *Serratia plymuthica* 4Rx13. *Front Microbiol* 7, 737.
- [17] N. Magnus et al. (2023). Non-canonical biosynthesis of a brexan-type bishomo-sesquiterpene chlororaphen through two consecutive methylation steps in *Pseudomonas chlororaphis* O6 and *Variovorax boronicumulans* PHE5–4. *Ang Chem Int Ed Engl*, e202303692.

Verfasst von:



Birgit Piechulla (Mitte), Jahrgang 1956, hat in Oldenburg und Göttingen Biologie studiert. Anschließend Promotion (1983) am MPI für experimentelle Medizin sowie an der Universität Göttingen und Postdoc (1984–1986) am Botany Dept., University of California, Berkeley, USA. Nach der Habilitation (1992) an der Universität Göttingen im Fach Biochemie C4-Professur für Biochemie an der Universität Rostock (1996–2022) und seitdem Seniorprofessur ebendort. Piechulla ist Co-Autorin des Lehrbuchs *Pflanzenbiochemie/Plant Biochemistry*.

Nancy Schmidt (links), Jahrgang 1986, hat an der Universität Rostock Biologie studiert, dort 2018 promoviert und eine Postdoc-Zeit absolviert (2018–2023).

Marie-Chantal Lemfack (rechts), Jahrgang 1980, hat an der Universität Dschang in Kamerun Biologie studiert, 2016 an der Universität Rostock promoviert und dort bis 2023 als Postdoc geforscht. Seit Januar 2023 Wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Centogene, Rostock.



Stephan von Reuss, Jahrgang 1975, hat an der Universität Hamburg den Master of Science in Chemie erworben und dort 2009 promoviert. Anschließend Postdoc an der Cornell University, NY, USA (2009–2012) und am MPI Chemische Ökologie, Jena (2012–2016). Seit 2016 Professur an der Universität Neuchâtel, Schweiz.

Korrespondenz:

Prof. em. Dr. Birgit Piechulla
Institut für Biowissenschaften
Universität Rostock
Albert-Einstein-Str. 3
18059 Rostock
E-Mail. birgit.piechulla@uni-rostock.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

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



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

