

Antibiotika aus Basidiomyceten

T. ANKE

Institut für Biologie I, Lehrbereich Spezielle Botanik,
Auf der Morgenstelle 1, D-7400 Tübingen 1.

Als Vortrag gehalten am 29.9.1977

Anke, T. (1978) – Antibiotics from *Basidiomycetes*. Z. Mykol. 44 (1): 131–141.

Key Words: Antibiotics, *Basidiomycetes*, review.

Abstract: The following paper gives a short survey on the antibioticly active metabolites produced by *Basidiomycetes*. Part of this paper has been presented as lecture at the meeting of the „Deutsche Gesellschaft für Mykologie“ in Tübingen.

Zusammenfassung: Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die Metabolite aus Basidiomyceten gegeben werden, für die bis jetzt eine antibiotische Aktivität nachgewiesen werden konnte. Ein Teil dieser Arbeit wurde als Vortrag anlässlich der Tagung der „Deutschen Gesellschaft für Mykologie“ in Tübingen vorgestellt.

Fleming's Entdeckung des Penicillins und dessen Entwicklung zu einem der bedeutendsten Therapeutika führten bereits in den Anfangsjahren der Antibiotikaforschung zu einem umfangreichen Screening von Pilzen auf die Bildung weiterer antibakteriell wirksamer Metabolite. In den Jahren 1940–1950 wurden Fruchtkörperextrakte oder Kulturfiltrate von etwa 2000 verschiedenen Basidiomyceten-Arten auf die Anwesenheit antibakterieller Antibiotika getestet. Die Ergebnisse dieser ersten Screenings, die zum größten Teil von Wilkins, Herve y, Robbins und ihren Mitarbeitern durchgeführt wurden, sind weitgehend in Publikationen von Florey et al. (1949) und Herve y (1947) zusammengefaßt.

Die Entdeckung und Isolierung des Streptomycins durch Waxman in den frühen vierziger Jahren und das folgende systematische Screening der *Actinomycetales* führten zu einer neuen Ära der Suche nach biologisch aktiven Metaboliten, die bis heute zur Isolierung von ungefähr 2500 verschiedenen Antibiotika aus Bakterien, vornehmlich der Gattung *Streptomyces* führte. Erst als sich in neuerer Zeit trotz zahlreicher neuer Screening-Verfahren die Chancen, aus den leicht isolierbaren und kultivierbaren Bakterien neue Antibiotika zu gewinnen, merklich verschlechterten, wurden erneut schwieriger zu kultivierende Organismen als potentielle Antibiotika-Produzenten in Betracht gezogen.

Heute werden von verschiedenen Gruppen in den USA, Canada, Japan und Europa auch Basidiomyceten wieder einem intensiven Screening unterzogen. Dabei wurde eine Reihe von Antibiotika mit neuartigen Strukturen gefunden, was die vorausschauende

Feststellung von W a k s m a n (1969) bekräftigt: „Any new method for the isolation of antibiotic-producing microorganisms will tend to yield new types of antibiotics.“

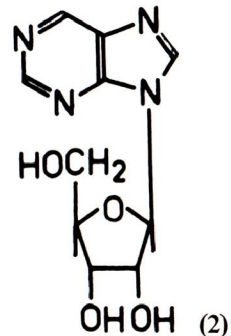
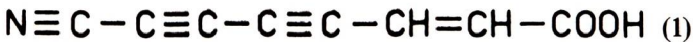
In einem zusammenfassenden Artikel gibt B e r d y (1974) die Summe aller bisher beschriebenen Antibiotika mit 3222 an, davon stammen 140 aus Basidiomyceten. In der folgenden Arbeit soll an Hand von B e i s p i e l e n ein kurzer Überblick über die antibiotisch wirksamen Sekundärmetabolite aus Basidiomyceten gegeben werden. Eine ausführliche Zusammenfassung auch der nicht antibiotisch aktiven Metabolite aus Pilzen findet man in T u r n e r; „Fungal Metabolites“ (1971) und in dem von L a s k i n und L e c h e v a l i e r herausgegebenen „Handbook of Microbiology“ (1974). Über Pilzfarbstoffe wurde in dieser Zeitschrift von E u g s t e r (1973) berichtet, eine neuere Arbeit stammt von S t e g l i c h (1975).

Polyacetylene

Die größte Zahl der biologisch aktiven Basidiomyceten-Metaboliten mit bekannter Struktur gehören zur Klasse der Polyacetylene. Von den rund 600 beschriebenen, natürlich vorkommenden Polyinen stammen etwa 80 aus Basidiomyceten, die anderen wurden hauptsächlich bei Pflanzen aus der Familie der *Asteraceae* (*Compositae* ppte.) und *Apiaceae* nachgewiesen. Als Beispiel für ein antibiotisch aktives Polyacetylen sei hier das Diatreyne 2 (1) aufgeführt, das von A n c h e l (1952) aus *Clitocybe diatreta* erstmals isoliert wurde. Eine taxonomische Wertung des Vorkommens der Diatreyne wurde von A n c h e l et al. (1962) vorgenommen. In vivo Untersuchungen zur Biosynthese des Diatreyne 2 wurden von J o n e s et al. (1975) mit Kulturen von *Lepista diemii* durchgeführt. Dabei wurde ein Ester der Verbindung $\text{HO-CH}_2\text{-(C}\equiv\text{C)}_3\text{-CH}^{\pm}\text{H-COOH}$ als Zwischenprodukt der Biosynthesekette vorgeschlagen. Im Verlauf unseres Screenings wurde Diatreyne 2 in Kulturen von *Clitocybe brumalis* und *Clitocybe obsoleta* nachgewiesen. Alle Polyine können leicht an ihren charakteristischen UV- und IR-Spektren erkannt werden. Sehr erschwert wird das Arbeiten mit diesen Verbindungen durch ihre leichte Zersetzbarkeit.

Nebularin

Eine Verbindung, die sich biogenetisch aus dem Nucleosidstoffwechsel herleitet, ist das von L ö f g r e n et al. (1954) aus Fruchtkörpern von *Clitocybe nebularis* und von I s o n o & S u z u k i (1960) aus einem Streptomyceten isolierte Nebularin (2). Dieser Sekundärmetabolit unterscheidet sich von dem Primärmetaboliten Adenosin durch das



Fehlen der Aminogruppe an C-6. Nebularin hemmt das Wachstum von Mycobakterien in Konzentrationen von 0,5–1,0 $\mu\text{g/ml}$. Seine Antitumor-Wirkung ist mit einer hohen Toxizität verbunden.

6-Methyl-1,4-naphthochinon

Als Beispiel eines der wenigen antibiotisch aktiven Polyketide aus Basidiomyceten sei hier das 1951 von B e n d z aus den Kulturfiltraten von *Marasmius graminum* isolierte rote 6-Methyl-1,4-naphthochinon (3) angeführt. Für diese Verbindung wurde eine geringe antibiotische Aktivität gegen *Staphylococcus aureus* nachgewiesen. Polyketide werden durch Kondensation einer Acyl-Einheit mit Malonyleinheiten wie bei der Fettsäuresynthese des Primärstoffwechsels aber ohne Reduktion des intermediär gebildeten β -Dicarbonyl-Systems gebildet. Das entstehende Poly- β -ketomethylen besitzt aktivierte Methylengruppen, die an internen Kondensationen teilnehmen können, wobei zum Beispiel aromatische Verbindungen entstehen.

Oospolacton

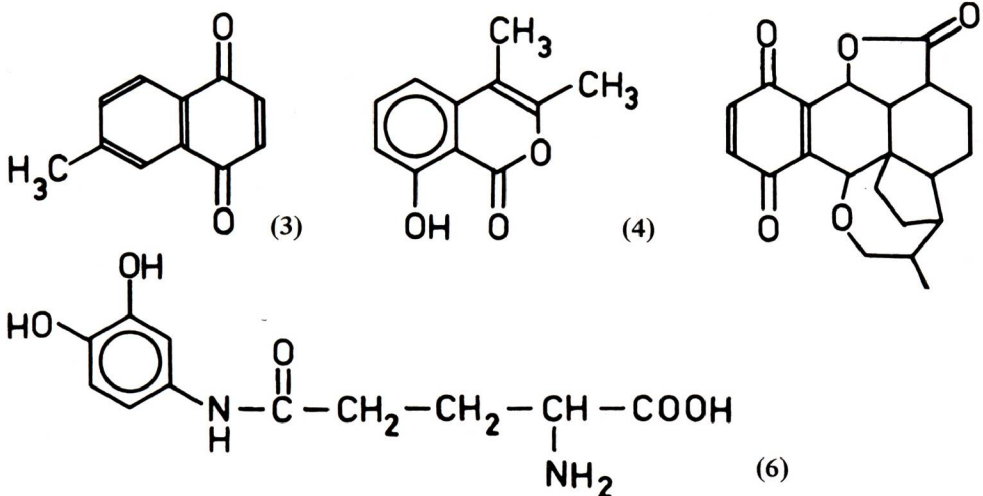
1976 wurde von N a k a j i m a et al. aus *Gloeophyllum sepiarium* ein kristallines antifungisches Antibiotikum, Oospolacton (4), isoliert, das bereits 1961 von Y a m a m o t o aus einer *Oospora*-Art rein dargestellt und dessen Struktur von Y a m a m o t o et al. im selben Jahr aufgeklärt worden war. Ein ähnliches Isocumarin-Derivat, 8-Hydroxy-3-methylisocumarin wurde 1959 von B e n d z aus *Marasmiellus ramealis* isoliert (T u r n e r 1971).

Pleurotin

Pleurotin (5) wurde 1947 von R o b b i n s, K a v a n a g h und H e r v e y aus Kulturen von *Pleurotus griseus* isoliert. Die Struktur wurde 1968 von A r i g o n i aufgeklärt. Die minimalen Hemmkonzentrationen dieses Antibiotikums gegen Gram-positive Bakterien liegen bei 1 $\mu\text{g/ml}$.

Agaridoxin

Agaridoxin, 3,4-Dihydroxy(γ -L-glutamyl)anilid (6), wurde 1975 von S z e n t - G y o r g y i et al. in einem Screening auf Metabolite mit Antitumor-Eigenschaften aus



Fruchtkörpern von *Agaricus campestris* isoliert. Die Verbindung hat im Tierversuch keine Antitumor-Wirkung, das aus Agaridoxin durch Oxidation leicht zugängliche γ -L-Glutaminyl-3,4-benzochinon zeigt eine mäßige bakterizide Wirkung gegen eine Reihe von Mikroorganismen. Eine Rolle dieser Verbindung bei der Sporenkeimung von *Agaricus bisporus* wird für möglich gehalten.

Drosophilin A

Drosophilin A (7), ein chlorhaltiges Antibiotikum, wurde 1952 von Kavanagh et al. aus *Psathyrella (Drosophila) subatrata* isoliert. Die Verbindung zeigt bei hohen Konzentrationen eine schwache antivirale Aktivität. O-Methyl-drosophilin A wurde 1966 von Singh & Rangaswami in *Fomes fastuosus* nachgewiesen.

Frustulosinol

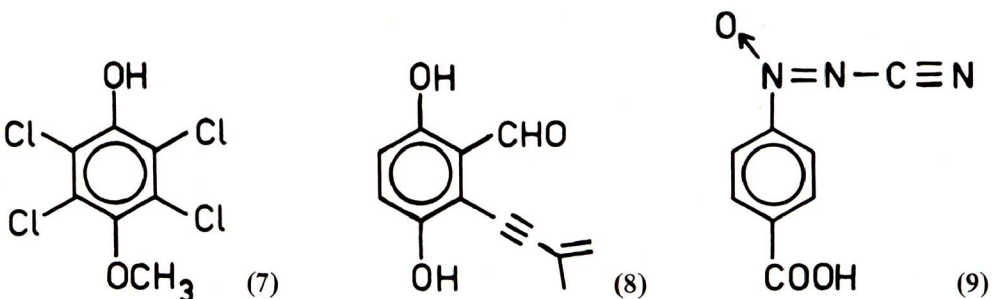
Frustulosinol (8) ein Antibiotikum aus *Xylobolus frustulatus (=Stereum frustulosum)*, wurde 1975 von Nair & Anchel beschrieben. Die Strukturaufklärung erfolgte 1977 durch dieselben Autoren. Frustulosinol ist antibiotisch aktiv gegen Gram-positive Bakterien und Pilze. Eine Verbindung mit sehr ähnlicher Struktur, Siccayne, war bereits 1968 von Ishibashi et al. aus *Helminthosporium siccans* isoliert worden (Turner 1971).

p-Carboxyphenylazoxycyanid (*Calvatic acid*)

p-Carboxyphenylazoxycyanid (9) wurde 1974 von Gasco et al. und kurz darauf von Umezawa et al. (1975) aus Kulturfiltraten von *Calvatia lilacina* und *Calvatia craniiformis* isoliert. Die antibakteriellen, antifungischen und Antitumor-Eigenschaften dieser Verbindung sowie einer Reihe von synthetischen Derivaten wurden 1975 von Umezawa et al. und 1977 von Mortarini et al. beschrieben. Andererseits sind Azoxyverbindungen wie das natürlich vorkommende Macrozamin oder Cycasin bekannt für ihre krebserzeugende Wirkung (Cordell & Farnsworth 1977). Von uns wurde *p*-Carboxyphenylazoxycyanid aus Kulturfiltraten von *Lycoperdon pyriforme* und einigen anderen *Lycoperdon*-Arten isoliert (Anke, unveröffentlichte Ergebnisse). Möglicherweise besitzt diese Verbindung chemotaxonomischen Wert.

Sparassol

1923 wurden von Falc in Kulturen von *Sparassis ramosa* lange nadelförmige Kristalle eines fungistatischen Metaboliten entdeckt. Das Antibiotikum wurde nach dem Produzen-



ten Sparassol genannt. Sparassol (10) ist der Methylester der Everninsäure, die schon lange als Stoffwechselprodukt der Flechte *Evernia prunastri* bekannt war.

Grifolin

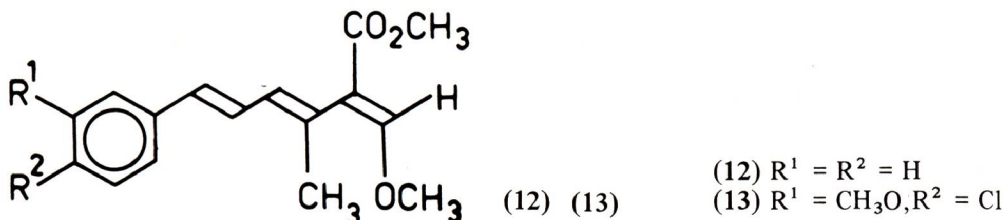
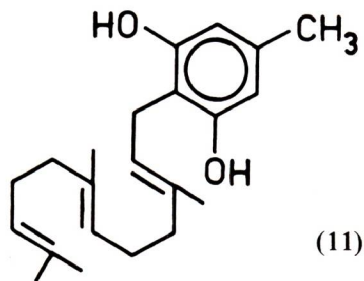
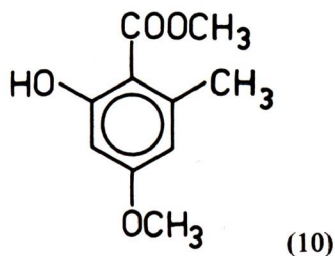
Grifolin (11) wurde 1949 von Hirata & Nakanishi aus *Albatrellus (Grifola) confluens* kristallin erhalten. Die Struktur wurde 1963 von Goto et al. aufgeklärt. Grifolin, 2, trans, trans-Farnesyl-5-methylresorcin, hemmt Gram-positive Bakterien bei Konzentrationen von 50 µg/ml, die Toxizität ist relativ gering, die letale Dosis liegt bei 1,6 g/kg (Maus). Zwei Antibiotika mit sehr ähnlicher Struktur, LL-Z-1272 α und β, die sich nur durch andere Substitution am Benzolring unterscheiden, wurden 1969 von Ellestad et al. aus einer Fusarien-Art isoliert. Von Besl et al. wurden 1977 aus *Albatrellus ovinus* und *Albatrellus subrubescens* die Farnesylphenole Scutigeral und Neogrifolin isoliert.

Strobilurin A und B

Die Strobilurine A (12) und B (13) sind zwei neue antifungische Antibiotika, die von uns aus Kulturen von *Strobilurus tenacellus* isoliert wurden. Strobilurin A, C₁₆H₁₈O₃, ist ein farbloses, homogenes Öl, Strobilurin B, C₁₇H₁₉O₄, konnte von uns kristallin erhalten werden. Konzentrationen von 1 µg/ml bewirken bereits eine deutliche Hemmung von *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* und anderen phytopathogenen Pilzen. In vitro Versuche mit Zellen des Ehrlich Ascites Carcinoms ergaben eine deutliche Antitumor-Wirkung (Anke et al. 1977). Die Strukturaufklärung wurde von der Arbeitsgruppe von Steglich durchgeführt (Schramm et al. 1977).

Marasminsäure

1949 wurde von Kavanagh et al. ein antibakterielles und antifungisches Sesquiter-



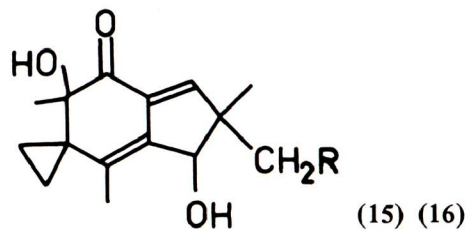
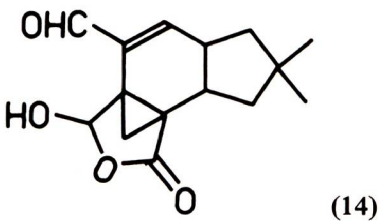
pen isoliert, das nach dem Produzenten *Marasmius conigenus* Marasminsäure (14) genannt wurde. Die Strukturaufklärung erfolgte 1966 durch Dugan et al. Durch Einbauversuche mit ^{14}C -markierter Mevalonsäure wurde von denselben Autoren ein Biosyntheseweg über eine Humulen-Vorstufe wahrscheinlich gemacht. Die chemische Totalsynthese gelang 1976 Greenloe & Woodward.

Illudine M und S

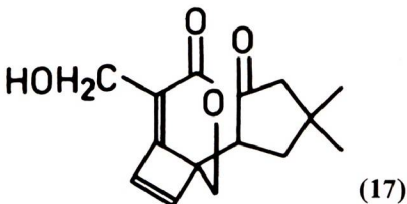
Die Illudine M (15) und S (16) wurden 1950 aus *Omphalotus olearius* (*Clitocybe illudens*) isoliert und die Strukturen 1965 von McMorris und Anchel aufgeklärt. Bei einem Screening von 600 Basidiomyceten auf die Produktion von Antitumor-Substanzen wurde Illudin S (Lampterol) aus *Lampteromyces japonicus* erneut isoliert (Nakanishi et al. 1965). Illudin S wirkt antibakteriell, antifungisch und hat Antitumor-Eigenschaften. Die Verbindung ist sehr toxisch und ein starkes Hautgift. Bei Bakterien wurde von Walser & Heinsteins 1973 als Wirkort die DNA-Synthese ermittelt. Untersuchungen zur Biosynthese von Illudin M aus radioaktiv markierter Mevalonsäure wurden 1973 von Hanson und Marten publiziert.

Fomannosin

Fomannosin (17), ein Phytotoxin mit antibakterieller Wirkung wurde 1967 von Basset et al. aus *Heterobasidion annosum* (*Fomes annosus*) isoliert. *Heterobasidion annosum* ist ein weitverbreiteter, phytopathogener Basidiomycet, der überwiegend Nadelhölzer befällt und abtötet. Basset konnte zeigen, daß 88 μg Fomannosin in einer Laesion genügen, um einen jungen Baum zum Absterben zu bringen. Fomannosin, ein weiterer phytotoxischer Metabolit mit einem Dihydrobenzofuran-Grundgerüst wurde 1977 von Hirotsani et al. ebenfalls aus Kulturen von *Heterobasidion annosum* isoliert.



(15) R = H
(16) R = OH



Coriolin und Coriolin B

Coriolin (18) wurde 1969 von Takahashi et al. aus Kulturfiltraten von *Coriolus consors* isoliert. Die revidierte Struktur wurde von Takahashi et al. 1971 publiziert. Das Sesquiterpen-Antibiotikum hemmt das Wachstum Gram-positiver Bakterien. Coriolin B (19) zeigt keine biologische Aktivität, für sein Oxidationsprodukt, Diketocoriolin B, wurde eine antibakterielle und Antitumor-Wirkung nachgewiesen. Als Wirkort bei Tumorzellen wurde von Kunimoto et al. 1973 die in der Cytoplasmamembran lokalisierte ($\text{Na}^+ - \text{K}^+$) ATPase vorgeschlagen. Durch chemische Modifikation des Coriolin B konnte von Nishimura et al. 1977 gezeigt werden, daß die Keto-Gruppe an C-5 und die zwei Epoxygruppen für die antibakterielle und Antitumor-Aktivität von entscheidender Bedeutung sind. Eine Verbindung mit sehr ähnlicher Struktur und antibakteriellen Eigenschaften, *complicatic acid*, wurde 1973 von G. Mellows et al. aus *Stereum complicatum* isoliert.

Lactaroviolin

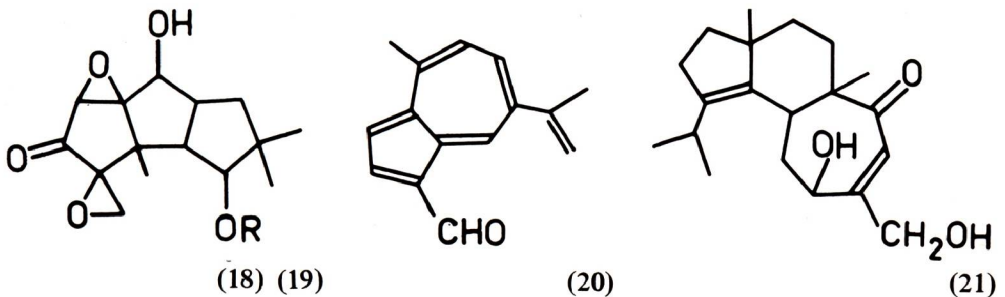
Lactaroviolin (20), ein Sesquiterpen mit Azulenstruktur, wurde 1954 von Heilbronner & Schmid aus *Lactarius deliciosus* isoliert. Das violette Antibiotikum hemmt *Mycobacterium tuberculosis*, die minimalen Hemmkonzentrationen liegen bei 67 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Bei höheren Pflanzen wurden Pro-Azulene in ätherischen Ölen, zum Beispiel im Kamillenöl nachgewiesen.

Cyathine

Die Cyathine sind Diterpene, sie sind aus vier Isopren-Einheiten aufgebaut. Cyathin A₃ (21) und die anderen Antibiotika dieser Gruppe wurden 1971 von Allbutt et al. isoliert, die Strukturen wurden von Ayer & Taube 1972 und Ayer & Carstens 1973 aufgeklärt. Die Cyathine, ein neuer Typ von Diterpenen, besitzen antibakterielle und antifungische Eigenschaften.

Striatine

1977 wurden von uns aus *Cyathus striatus* drei neue kristalline Antibiotika isoliert, die wir Striatin A ($\text{C}_{27}\text{H}_{36}\text{O}_7$), Striatin B ($\text{C}_{27}\text{H}_{36}\text{O}_8$) und Striatin C ($\text{C}_{25}\text{H}_{34}\text{O}_7$) genannt haben (Anke et al. 1977). Die Striatine besitzen ein breites Wirkungsspektrum gegen *Fungi imperfecti*, Gram-positive aerobe und anaerobe Bakterien sowie gegen



(18) R = H

(19) R = CO $[\text{CH}_2]_6 \cdot \text{CH}_3$

einige Gram-negative Bakterien. Von den Makromolekülsynthesen werden die Protein-, RNS- und DNS-Synthese bei *Bacillus brevis* bei gleichen Konzentrationen und fast gleichzeitig gehemmt, der genaue Wirkort läßt sich somit noch nicht festlegen.

Phlebiakauranol

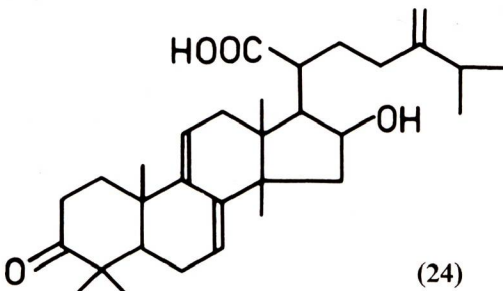
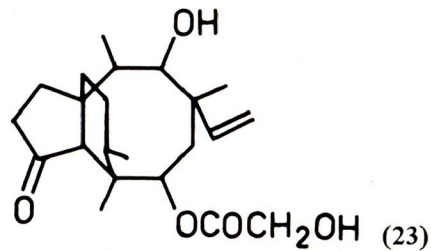
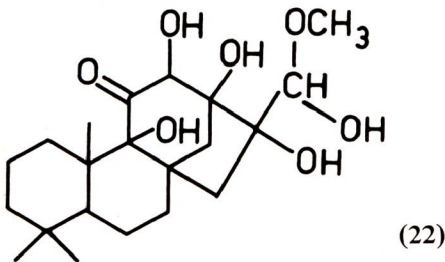
Phlebiakauranol (22) und eine weitere sehr ähnliche Verbindung wurden 1975 von Lisy et al. aus *Phlebia strigozonata* isoliert. Interessant ist die Kauranstruktur des Antibiotikums. Kaurane sind die biogenetischen Vorläufer der Gibberelline (Phytohormone), es erscheint somit wahrscheinlich, daß auch Basidiomyceten Gibberelline synthetisieren können. Phlebiakauranol und Phlebianorkauranol hemmen das Wachstum von *Staphylococcus aureus* bei Konzentrationen von 16 µg/ml.

Pleuromutilin

Pleuromutilin (23) wurde 1951 von Kavanagh et al. aus *Pleurotus mutilus*, *Clitopilus (Pleurotus) passeckerianus* und 1952 von denselben Autoren aus *Psathyrella (Drosophila) subatrata* isoliert. Die Struktur wurde 1962 von Arigoni aufgeklärt. Von Riedl sowie Egger & Reinshagen wurden 1976-70 Derivate synthetisiert, die bis zum 100fachen der Aktivität der Ausgangssubstanz aufwiesen. Bemerkenswert ist die hohe Aktivität des Pleuromutilins und seiner semisynthetischen Derivate gegen Gram-positive Bakterien und Mycoplasmen bei geringer Toxizität. Durch Versuche in einem zellfreien System aus *Escherichia coli* wurde von Hodgkin & Högenauer (1974) die Hemmung der Proteinsynthese durch ein Pleuromutilinderivat genauer untersucht.

Polyporensäure C

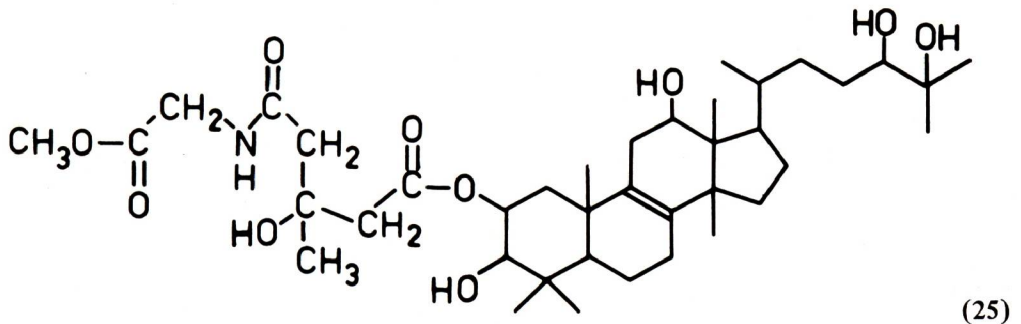
Ein antibiotisch wirksames Triterpen aus Basidiomyceten ist die Polyporensäure C (24), die 1953 von Bowers et al. aus *Piptoporus (Polyporus) betulinus* isoliert und in ihrer



Struktur aufgeklärt wurde. Interessant ist die hohe antibiotische Aktivität gegen *Mycobacterium phlei*, die minimalen Hemmkonzentrationen liegen bei 1–2 µg/ml.

Fasciculol D

Fasciculol D (25) wurde 1977 von Ikeda et al. im Rahmen eines Screenings auf Metabolite, die in die Regulation des Wachstums höherer Pflanzen eingreifen, aus Fruchtkörpern von *Hypholoma (Naematoloma) fasciculare* isoliert. Unter den Pilzmetaboliten ist Fasciculol D der erste tetracyclische Triterpenester mit einer Depsipeptidstruktur. Außer einer Wachstumshemmung bei Kohl-Keimlingen wurde bei Fasciculol D eine geringe antimikrobielle Aktivität gegen *Staphylococcus aureus* und *Klebsiella pneumoniae* beobachtet.



Literatur

- ANCHEL, M. (1952) – Acetylenic compounds from fungi. *J. Am. Chem. Soc.* 74: 1588–1590.
- W. B. SILVERMAN, N. VALANJU & C. T. ROGERSON (1962) – Patterns of polyacetylene production I. The diatretynes. *Mycologia* 54: 249–257.
- ALLBUTT, A. D., W. A. AYER, H. J. BRODIE, B. N. JOHRI & H. TAUBE (1971) – Cyathin, a new antibiotic complex produced by *Cyathus helena*. *Can. J. Microbiol.* 17: 1401–1407.
- ANKE, T., F. OBERWINKLER, W. STEGLICH & G. HÖFLE (1977) – The striatins – new antibiotics from the basidiomycete *Cyathus striatus* (Huds. ex Pers.) Wild. *J. Antibiot.* 30: 221–225.
- F. OBERWINKLER, W. STEGLICH & G. SCHRAMM (1977) – The strobilurins – new antifungal antibiotics from the basidiomycete *Strobilurus tenacellus* (Pers. ex Fr.) Sing. *J. Antibiot.* 30: 806–810.
- ARIGONI, D. (1962) – Structure of a new type of terpene. *Gazz. Chim. Ital.* 92: 884–901.
- (1968) – Some studies in the biosynthesis of terpenes and related compounds. *Pure Appl. Chem.* 17: 331–348.
- AYER, W. A. & H. TAUBE (1972) – Metabolites of *Cyathus helena*. Cyathin A₃ and allocyathin B₃, members of a new group of diterpenoids. *Tetrahedron Lett.* 1972: 1917–1920.
- & L. L. CARSTENS (1973) – Diterpenoid metabolites of *Cyathus helena*. Cyathin B₃ and Cyathin C₃. *Can. J. Chem.* 51: 3157–3160.
- BASSET, C., R. T. SHERWOOD, J. A. KEPLER & P. B. HAMILTON (1967) – Production and biological activity of formannosin, a toxic sesquiterpene metabolite of *Fomes annosus*. *Phytopathology* 57: 1046–1052.
- BENDZ, G. (1951) – 6-Methyl-1,4-naphthoquinone produced by *Marasmius graminum*. *Acta Chem. Scand.* 5: 489–490.
- BÉRDY, J. (1974) – Recent developments of antibiotic research and classification of antibiotics according to chemical structure. *Adv. Appl. Microbiol.* 18: 309–406.
- BESL, H., G. HÖFLE, B. JENDRNY, E. JÄGERS & W. STEGLICH (1977) – Pilzpigmente, XXXI. Farnesylphenole aus Albatrellus-Arten (*Basidiomycetes*). *Chem. Ber.* 110: 3370–3776.

- BOWERS, A., T. G. HALSALL, E. R. H. JONES & A. J. LEMIN (1953) – The chemistry of the triterpenes and related compounds. Part XVIII. Elucidation of the structure of polypropenic acid C. J. Chem. Soc. 1953: 2548–2560.
- CORDELL, G. A. & N. R. FARNSWORTH (1977) – Experimental antitumor agents from plants 1974–76. *Lloydia* 40: 1–44.
- DUGAN, J. J., P. de MAYO, M. NISBET, J. R. ROBINSON & M. ANCHEL (1966) – Terpenoids. XIV. The constitution and biogenesis of marasmic acid. *J. Am. Chem. Soc.* 88: 2838–2844.
- EGGER, H. & H. REINSHAGEN (1976) – New pleuromutilin derivatives with enhanced antimicrobial activity I. Synthesis. *J. Antibiot.* 29: 915–922.
- ELLESTAD, G. A., R. H. EVANS jr. & M. P. KUNSTMANN (1969) – Some new terpenoid metabolites from an unidentified *Fusarium* species. *Tetrahedron* 25: 1323–1334.
- EUGSTER, C. H. (1973) – Pilzfarbstoffe; ein Überblick aus chemischer Sicht mit besonderer Berücksichtigung der *Russulae*. *Z. Pilzkd.* 39: 45–95.
- FALCK, R. (1923) – Über ein kristallines Stoffwechselprodukt von *Sparassis ramosa* Schöff. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 56: 2555–2559.
- FLOREY, H. W., E. CHAIN, N. G. HEATLEY, M. A. JENNINGS, A. G. SANDERS, E. P. ABRAHAM & M. E. FLOREY (1949) – Antibiotics. Oxford University Press, London Vol. 1: 248–272.
- GASCO, A., A. SERAFINO, V. MORTARINI & E. MENZIANI (1974) – An antibacterial and antifungal compound from *Calvatia lilacina*. *Lett.* 1974: 3431–3432.
- GOTO, T., KAKISAWA & Y. HIRATA (1963) – The structure of grifolin, an antibiotic from a basidiomycete. *Tetrahedron* 19: 2079–2083.
- GREENLOE, W. J. & R. B. WOODWARD (1976) – Total synthesis of marasmic acid. *J. Am. Chem. Soc.* 98: 6075–6076.
- HANSON, J. R. & T. MARTEN (1973) – Incorporation of (2-³H₂)- and (4(R)-4-³H)-mevalonoid hydrogen atoms into the sesquiterpenoid illudin M. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 1973: 171–172.
- HEILBRONNER, E. & R. W. SCHMID (1954) – Zur Kenntnis der Sesquiterpene und Azulene. 113. Mitteilung. Azulenaldehyde und Azulenketone: Die Struktur des Lactarviolins. *Helv. Chim. Acta* 37: 2018–2039.
- HERVEY, A. H. (1947) – A survey of 500 basidiomycetes for antibacterial activity. *Bull. Torrey Bot. Club* 74: 476–503.
- HIRATA, Y. & K. NAKANISHI (1949) – Grifolin, an antibiotic from a basidiomycete. *J. Biol. Chem.* 184: 135–143.
- HIROTANI, M., J. O'REILLY, D. M. X. DONNELLY & J. POLONSKY (1977) – Fomannoxin – a toxic metabolite of *Fomes annosus*. *Tetrahedron Lett.* 1977: 651–652.
- HODGIN, L. A. & G. HÖGENAUER (1974) – The mode of action of pleuromutilin derivatives. Effect on cell-free polypeptide synthesis. *Eur. J. Biochem.* 47: 527–533.
- IKEDA, M., H. WATANABE, A. HAYAKAWA, K. SATO, T. SASSA & Y. MIURA (1977) – Structures of fasciculol B and its depsipeptide, new biologically active substances from *Naematoloma fasciculare*. *Agric. Biol. Chem.* 41: 1543–1545.
- ISONO, K. & S. SUZUKI (1960) – 9-β-D-Ribofuranosylpurine from a Streptomycete. *J. Antibiot.* 13: 270–272.
- JONES, E. R. H., V. THALLER & J. L. TURNER (1975) – Natural acetylenes. Part XLVII. Biosynthetic experiments with the fungus *Lepista diemii* (Singer). Biogenesis of the C 8 acetylenic cyanoacid diatretyne 2. *J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I* 1975: 424–428.
- KAVANAGH, F., A. HERVEY & W. J. ROBBINS (1949) – Antibiotic substances from basidiomycetes. IV. *Marasmius conigenus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 35: 343–349.
- A. HERVEY & W. J. ROBBINS (1951) – Antibiotic substances from basidiomycetes. VIII. *Pleurotus mutilus* und *Pleurotus passeckerianus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 37: 570–574.
- A. HERVEY & W. J. ROBBINS (1952) – Antibiotic substances from basidiomycetes. IX. *Drosophila subatrata* (Batsch ex Fr.) Quéf. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 38: 555–560.
- KUNIMOTO, T., M. HORI & H. UMEZAWA (1973) – Mechanism of action of diketocoriolin. *Biochim. Biophys. Acta* 298: 513–525.
- LASKIN, A. I. & H. A. LECHEVALIER (1974) – CRC Handbook of microbiology, Vol. 3 Microbial products. CRC Press Cleveland, Ohio.
- LISY, J. M., J. CLARDY, M. ANCHEL & S. M. WEINREB (1975) – X-ray structures of phlebia-kauranol and phlebianorkauranol, highly oxygenated antibacterial metabolites of *Phlebia strigozonata*. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 1975: 406–407.
- LOEFGREN, N., B. LÜNING & H. HEDSTRÖM (1954) – The isolation of nebularine and the determination of its structure. *Acta Chem. Scand.* 8: 670–680.

- McMORRIS, T. C. & M. ANCHEL (1965) – Fungal metabolites. The structures of the novel sesquiterpenoids illudin-S and -M. *J. Am. Chem. Soc.* 87: 1594–1600.
- MELLOWS, G., P. G. MANTLE, T. C. FELINE & D. J. WILLIAMS (1973) – Sesquiterpenoid metabolites from *Stereum complicatum*. *Phytochemistry* 12: 2717–2720.
- MORTARINI, V., G. RUA, A. GASCO, M. A. BIANCO & A. SANFILIPPO (1977) – Synthesis, antibacterial and antifungal activity of phenylazoxycyanide derivatives. *Eur. J. Med. Chem.* 12: 59–62.
- NAIR, M. S. R. & M. ANCHEL (1975) – Frustulosin, an antibiotic metabolite of *Stereum frustulosum*. *Tetrahedron Lett.* 1975: 2641–2642.
- & M. ANCHEL (1977) – Frustulosinol, an antibiotic metabolite of *Stereum frustulosum*: revised structure of frustulosin. *Phytochemistry* 16: 390–392.
- NAKAJIMA, S., K. KAWAI, S. YAMADA & Y. SAWAI (1976) – Isolation of oospolactone as antifungal principle of *Gleophyllum sepiarium*. *Agric. Biol. Chem.* 40: 811–812.
- NAKANISHI, K., M. OHASHI, M. TADA & Y. YAMADA (1965) – Illudin S (lampterol). *Tetrahedron* 21: 1231–1246.
- NISHIMURA, Y., Y. KOYAMA, S. UMEZAWA, T. TAKEUCHI, M. ISHIZUKA & H. UMEZAWA (1977) – Chemical modification of coriolin B. *J. Antibiot.* 30: 59–65.
- RIEDL, K. (1976) – Studies on pleuromutilin and some of its derivatives. *J. Antibiot.* 29: 132–139.
- ROBBINS, W. J., F. KAVANAGH & A. HERVEY (1947) – Antibiotic substances from basidiomycetes. I. *Pleurotus griseus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 33: 171–176.
- SCHRAMM, G., W. STEGLICH, T. ANKE & F. OBERWINKLER – Antibiotica aus Basidiomyceten, III. Strobilurin A und B, antifungische Stoffwechselprodukte aus *Strobilurus tenacellus*. *Chem. Ber. im Druck*.
- SINGH, P. & S. RANGASWAMI (1966) – Occurrence of O-methyl-drosophilin A in *Fomes fastuosus* Lev. *Tetrahedron Lett.* 1966: 1229–1231.
- STEGLICH, W. (1975) – Pilzfarbstoffe. *Chemie in unserer Zeit* 1975: 117–123.
- SZENT-GYORGYI, A., R. H. CHUNG, M. J. BOYAJIAN, M. TISHLER, B. H. ARISON, E. F. SCHOENWALDT & J. J. WITTICK (1976) – Agaridoxin, a mushroom metabolite. Isolation, structure, and synthesis. *J. Org. Chem.* 41: 1603–1606.
- TAKAHASHI, S., H. IINUMA, T. TAKITA, K. MAEDA & UMEZAWA (1969) – The structure of coriolin, a new sesquiterpene antibiotic. *Tetrahedron Lett.* 1969: 4663–4666.
- H. NAGANAWA, H. IINUMA, T. TAKITA, K. MAEDA & H. UMEZAWA (1971) – Revised structure and stereochemistry of coriolins. *Tetrahedron Lett.* 1971: 1955–1958.
- TURNER, W. B. (1971) – Fungal metabolites. Academic Press, New York.
- UMEZAWA, H., T. TAKEUCHI, H. IINUMA, M. ITO, M. ISHIZUKA, Y. KURAKATA, Y. UMEDA, Y. NAKANISHI, T. NAKAMURA, A. OBAYASHI & O. TANABE (1975) – A new antibiotic, calvatic acid. *J. Antibiot.* 28: 87–90.
- YAMAMOTO, J. (1961) – Studies on the metabolic products of *Oospora spec.* Part I. Isolation and purification of two new compounds and eburicoic acid. *Agric. Biol. Chem.* 25: 400–404.
- K. NITTA & Y. YAMAMOTO (1961) – Studies on the metabolic products of *Oospora sp.* II. Chemical structure of Oospolactone (0–1). *Agric. Biol. Chem.* 25: 405–409.
- WAKSMAN, S. A. (1969) – Successes and failures in the search for antibiotics. *Adv. Appl. Microbiol.* 11: 1–16.
- WALSER, J. & P. F. HEINSTEIN (1973) – Mode of action of illudin S. *Antimicrob. Agents. Chemother.* 3: 357–363.



Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der **DGfM**.

www.dgfm-ev.de

Über [Zobodat](#) werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
(Name der Hefreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#) (CC BY-ND 4.0).



- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die [vollständigen Lizenzbedingungen](#), wovon eine [offizielle deutsche Übersetzung](#) existiert. Freigebiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [44_1978](#)

Autor(en)/Author(s): Anke Timm

Artikel/Article: [Antibiotika aus Basidiomyceten 129-139](#)