

Wie giftig sind unsere Speisepilze?

Toxins of Edible Fungi

H. LAATSCH, Göttingen *)

– Teil 2 – Part 2 **) –

Key words: Toxins, Basidiomycetes, Mushroom Poisoning

Gifte mit Wirkung auf das Zentralnervensystem: Psilocybin aus *Stropharia*-Arten wirkt ähnlich wie LSD

Bei ihren religiös-zeremoniellen Riten haben die Azteken noch im Mittelalter bestimmte halluzinogene Pilze benutzt, deren Zeugnisse mehr als 2000 Jahre zurückreichen [72]. Die Anwendung dieser Drogen wurde durch die Spanischen Eroberer jedoch tabuisiert und ist schließlich in Vergessenheit geraten, und bis Anfang der 50er Jahre war fast nichts mehr über die spirituellen Praktiken bekannt. Erst durch die ethnobotanischen Untersuchungen von HEIM und WASSON [62, 63, 79] wurde die Identität von Teonanacatl – dem Fleisch der Götter – mit *Stropharia cubensis* und verschiedenen *Psilocybe*-Arten festgestellt und die Struktur der Wirkstoffe schließlich von A. HOFMANN, dem Entdecker des LSD, aufgeklärt [65] (Abb. 7): Verantwortlich für die halluzinogenen Effekte sind die Indolderivate Psilocin (**24**) und Psilocybin (**25a**). Beide Verbindungen lösen oral in Dosierungen zwischen 8 und 15 mg (entsprechend 2 bis 4 g getrockneter Pilze) lebhaft optische Halluzinationen aus, die den durch LSD bewirkten ähnlich sind, jedoch nur 4–6 Stunden anhalten.

Pilze mit halluzinogenen Eigenschaften sind auch in Europa heimisch. Die überwiegend sehr kleinen Pilze der Gattungen *Psilocybe*, *Stropharia* und *Panaeolus* sind im landläufigen Sinne zwar ungenießbar, werden jedoch wegen ihrer psychoaktiven Inhaltsstoffe **24** und **25a** gelegentlich zum Zwecke der psychedelischen Selbsterfahrung gesammelt. Die dazu am häufigsten benutzten Species sind *Panaeolus cyanescens*, *Psilocybe pelliculosa*, *Ps. semilanceata* und (die in Mittelamerika heimische) *Stropharia cubensis*; letztere läßt sich auch leicht kultivieren. Halluzinogene Aktivitäten wurden weiterhin in der Gattung *Pholiotina* (*Conocybe*) oder *Gymnopilus* und anderen gefunden [54, 58, 70].

Getrocknete „Rauschpilze“ tauchen gelegentlich auf dem schwarzen Markt auf. Die Pilzproben haben sich in der Mehrheit der Fälle jedoch als mit LSD oder dem gefährlichen Phencyclidin (PCP) imprägnierte Shiitake-Pilze und Champignons erwiesen [75]. Auch haben Mißinterpretationen der in zahlreichen Artikeln und Büchern der *Untergrundliteratur* ent-

haltenen Angaben zu Suche, Identifizierung und Kultur psychedelischer Pilze immer wieder zu Vergiftungen geführt.

Die Hauptwirkstoffe Psilocin (**24**) und Psilocybin (**25a**) sind verhältnismäßig ungiftig, wenn auch psychotische Reaktionen infolge von Überdosierungen gelegentlich einer psychiatrischen Nachbehandlung bedurften; mehrere ungewöhnliche toxische Reaktionen und sogar Todesfälle wurden jedoch in Zusammenhang mit *Ps. baeocystis* gebracht [71]. Baeocystin (**25b**) und Norbaeocystin (**25c**), neben **24** und **25a** Inhaltsstoffe von *Ps. baeocystis*, wurden für diese Unglücksfälle verantwortlich gemacht, vermutlich aber zu Unrecht; denn zumindest in einigen Fällen ist die Verwechslung mit anderen, Amanitin enthaltenden „kleinen braunen Pilzen“ (*Galerina* sp.?) wahrscheinlicher.

Der Gelbe Knollenblätterpilz (*Amanita citrina*) und der Porphyrbraune Wulstling (*A. porphyria*) enthalten das strukturell mit **24** verwandte Halluzinogen Bufotenin (**26**), das insbesondere auch in der Krötenhaut

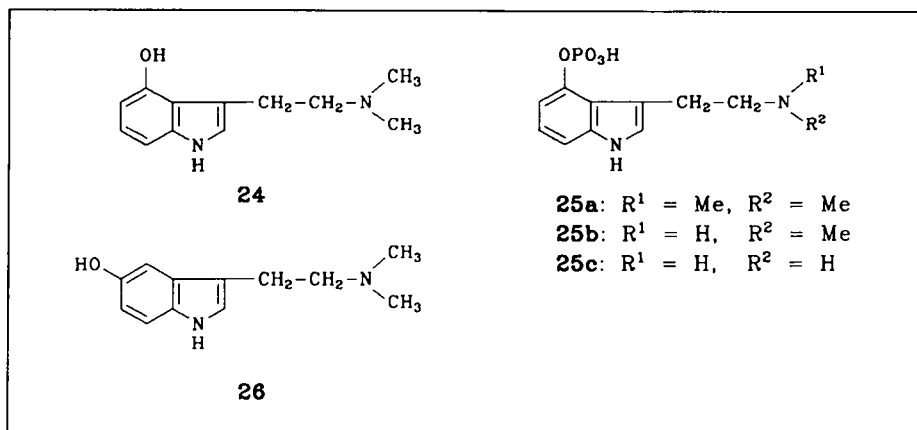


Abb. 7: Psychoaktive Indolderivate
24: Psilocin; **25a:** Psilocybin; **25b:** Baeocystin; **25c:** Norbaeocystin; **26:** Bufotenin

*) Prof. Dr. Hartmut Laatsch, Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Organische Chemie, Tamannstraße 2, D-3400 Göttingen

) Teil 1 erschienen in forum mikrobiologie **13, 460–465 (1990)

vorkommt [76], die wie der Fliegenpilz ein Bestandteil mittelalterlicher Hexengebräue ist. Oral ist es jedoch inaktiv; beide Pilze gelten deshalb als eßbar, sollten jedoch wegen ihrer Ähnlichkeit mit tödlich giftigen *Amanita*-Arten gemieden werden.

Eine *Russula*-Art (*R. delica*?, *R. nondorbingi*?), *Boletus manicus* und verschiedene andere *Boletales* sollen für die „Pilzhysterie“ der Kuma auf Neu Guinea verantwortlich sein [64, 74]. Die Pilze – oder zumindest doch die meisten von ihnen – haben jedoch anscheinend keinerlei physiologischen Effekt, und die Berichte sind wohl eher in den Bereich der Mythologie als in die Mykologie einzuordnen.

Halluzinogene Pilze oder ihre Inhaltsstoffe wurden in der modernen Psychotherapie mit beeindruckendem Erfolg eingesetzt [69]; die Wirkstoffe selbst unterstehen derzeit jedoch – ebenso wie die getrockneten oder anderweitig zubereiteten Rauschpilze – dem Betäubungsmittelgesetz!

Vergiftungen durch Muscarin und andere Neurotoxine

Die facettenreiche Geschichte, Chemie und Pharmakologie des erstmals im Fliegenpilz (*Amanita muscaria*) gefundenen hochgiftigen Muscarins (**27**, Abb. 8) und verwandter Verbindungen wurden von EUGSTER [57], WILKINSON [81] und KLEINHOLZ [66] zusammengefaßt. Muscarin wurde viele Jahre zu Unrecht für die toxischen Eigenschaften des Fliegenpilzes verantwortlich gemacht: Es bindet durch seine dem Acetylcholin (**28**) ähnliche Struktur an den cholinergen „Muscarin-Rezeptor“ und führt zu Schweißausbrüchen, Übelkeit und Erbrechen, in schweren Fällen durch Stimulation des peripheren parasymphatischen Nervensystems zu Schock und Herz-Kreislauf-Versagen.

Fliegenpilze enthalten jedoch nur 0,0002–0,0003% **27**, das bei oraler Aufnahme zudem noch schlecht resorbiert wird. Für die zentralnervösen Symptome der *A. muscaria*-Vergif-

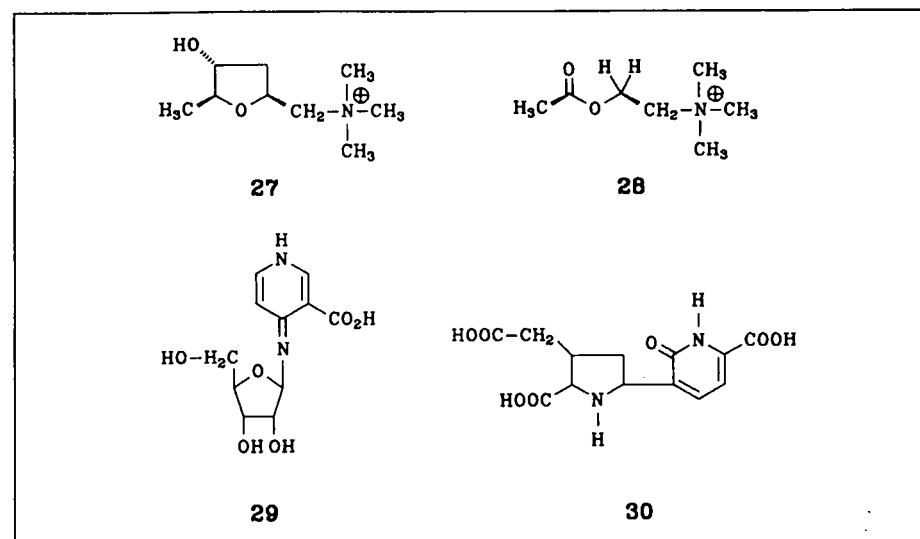


Abb. 8: Neurotoxine aus Pilzen

27: Muscarin, 2-Methyl-3-hydroxy-5-trimethylammoniumtetrahydrofuran; **28:** Acetylcholin; **29:** Clitidin; **30:** Acromelinsäure B

tung kann es daher nicht verantwortlich sein, auch weil es verglichen mit dem Pilz eine völlig andere pharmakologische Aktivität zeigt und die Blut-Hirn-Schranke nicht überwinden kann. Da die Fliegenpilzvergiftung offensichtlich nicht von Muscarin herührt, ist auch die Behandlung mit Atropin als spezifischem Antidot strikt kontraindiziert; die psychotischen Symptome würden im Gegenteil sogar noch potenziert!

Muscarin (**27**) wurde jedoch in letalen Konzentrationen in vielen *Clitocybe*- und *Inocybe*-Arten gefunden. Nur 75 g des Ziegelroten Ribßpilzes (*Inocybe patoullardi*, entsprechend 180 mg **27**) können für einen Erwachsenen innerhalb von 8–9 Stunden tödlich sein, wenn in diesem Falle die Behandlung mit Atropin als spezifischem Antidot (Blockierung der motorischen Endplatten) unterbleibt. Muscarin wurde für eine Vergiftung mit *Boletus eastwoodae* [81] verantwortlich gemacht und ist in subtoxischen Konzentrationen auch in zahlreichen anderen Pilzen vertreten. Obwohl nicht alle *Clitocybe*- und *Inocybe*-Arten toxisch sind, ist vom Verzehr von Pilzen dieser Gattungen wegen der Verwechslungsgefahr dennoch dringend abzuraten.

Ein kristalliner giftiger Inhaltsstoff aus *Clitocybe acromelalga* tötete Mäuse bei 0,05 mg/kg erst nach 7–10 Tagen

und ist dadurch von Muscarin eindeutig verschieden, nach den spektroskopischen Eigenschaften möglicherweise jedoch mit Clitidin (**29**) identisch [77]. Nach der neueren Literatur sind auch Clithionein und 4-Aminochinolinolinsäure enthalten, für die Giftigkeit jedoch vorwiegend die excitatorisch wirksamen Acromelinsäuren A und B (B: **30**) verantwortlich [67, 73]. Weitere neuroaktive Giftstoffe aus Pilzen nennt Gelosa [59].

Der Fliegenpilz *Amanita muscaria* enthält Halluzinogene II. Ordnung

Die eigentliche *A. muscaria*-Vergiftung (*Pantherina*-Syndrom) ist durch zentralnervöse Effekte charakterisiert, wie sie ähnlich auch durch Alkohol oder Atropin („Pilzatropin“ des Fliegenpilzes) hervorgerufen werden: 30–60 Minuten nach dem Verzehr von 2 bis 4 rohen, getrockneten oder zubereiteten Pilzen [10–15 mg Muscimol (**32**, Abb. 9), entsprechend ca. 100 g Frischpilz, gelegentlich aber auch viel weniger] setzt die Wirkung mit Benommenheit, Euphorie, Schwindel und Koordinationsstörungen ein, auch Übelkeit und Erbrechen kommen vor. Ein mehrere Stunden andauernder deliranter Zustand mit Verwirrung, Erregung und unter Verlust des Realitätsbezuges visuellen sowie akustischen Wahnvorstellungen – oft mit

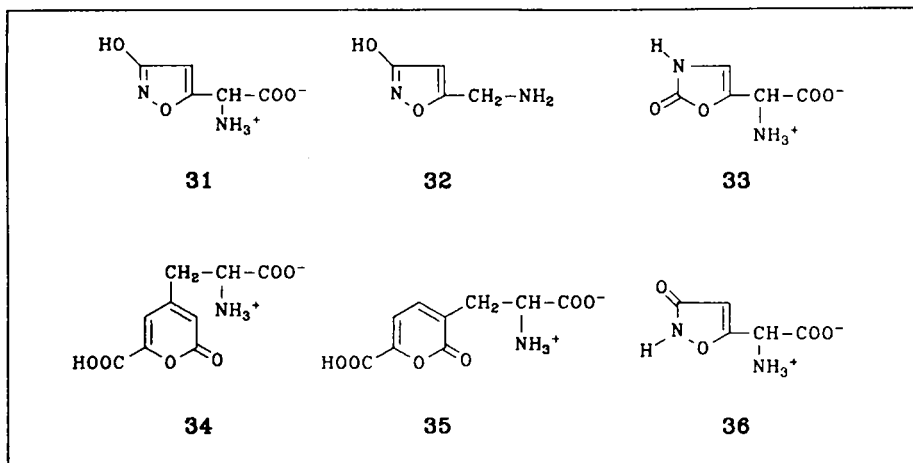


Abb. 9: Wirkstoffe aus Fliegenpilz und Pantherpilz

31: Ibotensäure, α -Amino-3-hydroxy-5-isoxazolyl-essigsäure; 32: Muscimol, Decarboxylierungsprodukt aus 31; 33: Muscazon; 34: Stizolobsäure; 35: Stizolobinsäure; 36: Tricholomasäure

beängstigenden Inhalten – folgen, schließlich tiefer Schlaf. Der Fliegenpilz wirkt damit nach der Definition von Lewin als Delirantium (Halluzinogen II. Ordnung [69]). Die Vergiftung selbst ist in keinem Stadium lebensbedrohend, und die Wirkung ist gewöhnlich nach 6–24 Stunden vollständig abgeklungen. Da der Realitätsbezug im Gegensatz zur Psilocybin-Vergiftung meistens verlorengelht, ist jedoch mit Gefährdungen und Verletzungen auf Grund von Fehleinschätzungen zu rechnen.

In der sibirischen Volksheilkunde und der frühen arischen Mythologie hat der Gebrauch von *A. muscaria* eine lange und interessante Tradition [68, 72]: Die Schriften von Wasson [78, 80] und anderen haben das allgemeine Interesse an den psychotropen Effekten des Fliegenpilzes geweckt, und dadurch auch den Mißbrauch von *A. muscaria* oder dem potenteren Pantherpilz (*A. pantherina* [60]) als Narkoticum und psychedelische Droge gefördert: Die Wahrscheinlichkeit einer unbeabsichtigten Vergiftung durch den Fliegenpilz (*A. muscaria*) ist eher gering, da er als der Prototyp eines Giftpilzes an sich gilt. Von den zahlreichen gut beschriebenen Fliegenpilz-Vergiftungen [46] wurden daher die meisten sicherlich durch Überdosierungen, und nur wenige durch Verwechslungen von *A. muscaria* mit dem eßbaren Kaiserling (*A. caesarea*), dem Grauen Wulstling (*A. spis-*

sa) oder dem Perlpilz (*A. rubescens*) verursacht.

Intoxikationen werden hauptsächlich auf Überdosierungen durch den von Standort zu Standort und auch jahreszeitlich extrem schwankenden Wirkstoffgehalt (bis 1 : 200!) sowie auf die je nach Zubereitung oder Art der Einnahme wechselnde Dosis zurückgeführt.

Die endgültige Identifizierung der aktiven Komponenten (Abb. 9) als Ibotensäure (31), deren mehrfach wirksamerem Decarboxylierungsprodukt Muscimol (32) und dem nur schwach psychoaktiven Muscazon (33) wurden an anderer Stelle zusammenfassend beschrieben [1, 57, 61].

Außer in *A. muscaria* (0,17 bis 1% 31) und *A. pantherina* (bis zu 0,46% 31 im Trockengewicht neben Stizolobsäure (34) und Stizolobinsäure (35) [56] wurden die Isoxazole 31 und 32 auch in *A. regalis*, *A. cothurnata* und in Spuren zusammen mit der verwandten, aber anscheinend untoxischen Tricholomasäure (36) in *Tricholoma muscarium* gefunden, die in Japan gelegentlich gegessen wird. Im Chromatogramm von *A. solitaria* findet man einen Ninhydrin-positiven Fleck mit ähnlichem, jedoch von 31 unterscheidbarem Laufverhalten [1]; auch *A. abrupta* enthält toxische Aminosäuren, die im Tierversuch zu Lebernekrosen führen [82].

Als Analogen der γ -Aminobuttersäure

(GABA) bindet Muscimol (32) an den GABA-Rezeptor im Gehirn, hauptsächlich in den Purkinje-Zellen des Kleinhirns [55]. Durch Blockierung deren inhibitorischer Funktion treten Muskeltremor und Koordinationsschwierigkeiten auf, und 15 mg 32 rufen wie der Pilz selbst ausgeprägte neurologische Effekte hervor.

Literatur über Neurotoxine und halluzinogene Effekte

- [54] BEUG, M. BIGWOOD, J.: Psilocybin and psilocin levels in twenty species from seven genera of wild mushrooms in the Pacific Northwest, USA. *J. Ethnopharmacol.* **5**, 271–285 (1982)
- [55] BIGGIO, G., BRODIE, B., COSTA, E., GUIDOTTI, A.: Mechanism by which Diazepam, Muscimol and other Drugs change the Content of cGMP in Cerebellar Cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **74**, 3592–3596 (1977)
- [56] CHILTON, W.S., HSU, CH.P., ZDYBAK, W.T.: Stizolobic and stizolobinic acids in *Amanita pantherina*. *Phytochemistry*, **13**, 1179–1181 (1974)
- [57] EUGSTER, C.H.: Chemie der Wirkstoffe aus dem Fliegenpilz, *Amanita muscaria*. *Fortschr. Chem. Org. Naturstoffe* **27**, 261–321 (1969)
- [58] GARTZ, J.: Variation der Alkaloidmengen in Fruchtkörpern von *Inocybe aeruginascens*. *Planta Med.* **53**, 539–541 (1987)
- [59] GELOSA, L., LEONI, G.: Neuropsychotrope mushrooms. *Riv. Soc. Ital. Sci. Aliment.*, **17**(5), 417–422 (1988)
- [60] HAERDI-WIESMANN, F.: Toadstools and their active ingredients. Intoxication from Amanites (pantherina syndrome). *SLZ, Schweiz. Lab.-Z.* **45**, 441 (1988)
- [61] HATFIELD, G.M., BRADY, L.R.: Toxins of higher fungi. *Lloydia* **38**, 36–55 (1974)
- [62] HEIM, R.: History of the discovery of Mexican hallucinogenic mushrooms. *Colloq. Int. C.N.R.S.*, No. 144, 243–262, discussion 262–4243–62, 262–264
- [63] HEIM, R., WASSON, R.: Les Champignons Hallucinogènes du Mexique. *Edit. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris* (1958)
- [64] HEIM, R., WASSON, R.G.: The 'mushroom madness' of the Kuma. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University* **21**, 1–35
- [65] HOFMANN, A., FREY, A., OTT, H., PETRZILKA, T., TROXLER, F.: Konstitutionsaufklärung und Synthese von Psilocybin. *Experientia* **14**, 397–399 (1958)
- [66] KEINHOLZ, J.R.: The History and Chemistry of Muscarine. *Mycologia* **26**, 275–286 (1934)
- [67] KONNO, K.: Toxic principles from the fungus *Clitocybe acromelalga*. *Nippon Nogei Kagaku Kaishi*, **63** (4), 876–879 (1989)

- [68] LANCASHIRE, R.J.: The sacred mushroom. *Educ. Chem.* **17**, 38–43 (1980)
- [69] LEUNER, H.: Halluzinogene, Psychische Grenz Zustände in Forschung und Psychotherapie, Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien (1981)
- [70] MANDRILE, E.L., BONGIORNO DE PFIRTER, G.M., NAJERA, M.T.: Natural active substances with hallucinogenic effects. III Psilocine and Psilocybine. Their presence in certain species of Basidiomycetes. *Acta Farm. Bonaerense* **2**, 105–117 (1983)
- [71] MCCAWLEY, E., BRUMMETT, R., DANA, G.: Convulsions from Psilocybe Mushroom Poisoning. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* **5**, 27–33 (1962)
- [72] SCHULTES, R.E., HOFMANN, A.: Pflanzen der Götter, Hallwag Verlag, Bern, Stuttgart (1980)
- [73] SHINOZAKI, H., ISHIDA, M., OKAMOTO, T.: Acromelic acid, a novel excitatory amino acid from a poisonous mushroom: effects on the crayfish neuromuscular junction. *Brain Res.* **399** (2), 395–398 (1986)
- [74] SINGER, R.: A *Russula* provoking hysteria in new Guinea. *Phytopath. et Mycol. Applicata* **9**, 275–278 (1958)
- [75] STAHL, E., BROMBER, J., ESKE, D.: Hallucinogenic mushrooms with LSD? *Arch. Kriminol.* **162**, 23–33 (1978)
- [76] TYLER JR., V.E.: Investigation of the alkaloids of *Amanita* species II: *Amanita citrina* and *Amanita porphyria*. *Planta Med.* **12**, 397–402 (1964)
- [77] USHIZAWA, I., KATAGIRI, N., KATO, TE., TAIRA, N.: The toxic substance of docusasaka toadstool (*Clitocybe acromelalga*, Ichimura). *Igaku To Seibutsugaku* **94**, 251–254 (1977)
- [78] WASSON, R., In: EFRON, D., HOLMSTEDT, B., KLINE, N.S. (eds.): *Ethnopharmacologic Search for Psychoactive Drugs*, Public Health Service Publication no. 1645, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 405–414
- [79] WASSON, R.G.: The Hallucinogenic Mushrooms of Mexico and Psilocybin: A Bibliography. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University* **20**, 25–73
- [80] WASSON, V., WASSON, R.: *Mushroom, Russia and History*, Pantheon Books, New York (1957)
- [81] WILKINSON, S.: The History and Chemistry of Muscarine. *Quart. Rev. Chem. Soc.* **15**, 153–171 (1961)

- [82] YAMAURA, Y., FUKUHARA, M., TAKABATAKE, E., ITO, N., HASHIMOTO, T.: Hepatotoxic action of a poisonous mushroom, *Amanita abrupta* in mice and its toxic component. *Toxicology*, **38** (2), 161–173 (1986)

Allergene aus Pilzen können tödliche Reaktionen auslösen: Besonders gefährlich ist der Kahle Krempling (*Paxillus involutus*)

Bestimmte Pilze werden von dem Gros der Bevölkerung schadlos getragen, rufen bei einzelnen Individuen aber gastrointestinale Beschwerden oder sogar schwere anaphylaktische Reaktionen hervor: Mehrere Fälle von Pilzallergien wurden beschrieben, unter denen die hämolytische Anämie nach dem Genuß des Kahlen Kremplings (*Paxillus involutus*) die schwerste ist.

In den älteren Pilzbüchern wird der Kahle Krempling in gut gekochtem oder gebratenem Zustand als eßbar, wenn auch von geringem Wert beschrieben. In halbgarem Zustand löst er dagegen schwere gastrointestinale Vergiftungen aus; aber selbst richtig zubereitete Pilze haben plötzliche Todesfälle durch akuten Kreislaufkollaps verursacht [83, 85].

Der plötzliche Tod selbst erfahrener Pilzsammler durch immunologische Reaktionen ist nicht auf die hitzelablen Toxine oder das schon länger bekannte Involutin (37, Abb. 10) zurückzuführen, wie die Bildung spezifischer Antikörper gegen Extrakte aus *P. involutus* zeigt; die eigentliche Ursache ist vielmehr immer noch unbekannt. Ähnlich schwere allergische Reaktionen wurden auch nach dem Verzehr des Hallimasch (*Armillaria mellea*) beobachtet [86].

Allergische Sofortreaktionen (Typ I-Reaktionen) mit generalisiertem Juckreiz, Nesselausschlag und Quaddelbildung oder Asthma kommen auch nach dem Genuß von *Agaricus bisporus*, *Cantharellus cibarius*, *Boletus edulis* und verschiedenen *Clitocybe*-Arten vor. Haut- und Inhalationstests

haben ferner zu einem hohen Prozentsatz die Beteiligung von Pilzsporen am sogenannten Sommerasthma bewiesen [84], und allergische Alveolitis oder Pneumopathien (entzündliche Reaktionen der Lunge bzw. Kalk-einlagerungen) gegen Sporen von *Lentinus edodes* oder *Pleurotus ostreatus* sind von Arbeitern in kommerziellen Pilzkulturen bekannt.

Literatur

- [83] GELOSA, L., LEONI, G.: Mushrooms causing enterotoxiation, metabolic dysfunction and hemolysis. *Riv. Soc. Ital. Sci. Aliment.* **17** (6), 521–524 (1988)
- [84] HERXHEIMER, H., HYDE, H.A., WILLIAMS, D.A.: Allergic asthma caused by basidiospores. *The Lancet* **1969**, 131–133 (1969)
- [85] LASOTA, W.: Studies on the mushroom *Paxillus involutus* in connection with its evaluation in feeding. *Farm. Pol.* **26**, 317–323 (1970)
- [86] PIESCHEL, E.: Die Rohgiftigkeit einiger Lebensmittel und Pilze. *Myk. Mitt.* **8**, 69–77 (1964)

Toxische oder radioaktive Schwermetalle in Pilzen: Der Dünnefleischige Anisegerling (*A. silvicola*) ist stets hoch kontaminiert!

Erst vor wenigen Jahren wurde erkannt, daß verschiedene Pilze in der Lage sind, gewisse Schwermetalle aus dem Boden anzureichern und dadurch hohe Konzentrationen an Quecksilber, Vanadium, Chrom, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer, Arsen, Selen, Molybdän, Zink, Cadmium oder andere Metalle enthalten können [93]. Für den Menschen sind einige dieser Elemente in Spuren zwar essentiell, andere aber selbst in geringerer Menge toxisch.

Cadmium ist im Trinkwasser oder der Nahrung in Konzentrationen von mehr als 15 mg/kg akut toxisch, aber selbst bei Mengen von nur 350 µg/Tag sind bei mehrjähriger Aufnahme Skelettdeformationen („Itai-Itai byo“ in Japan) und Nierenparenchym-Schäden zu erwarten. Die biologische Halbwertszeit wird auf 20 bis 40 Jahre geschätzt.

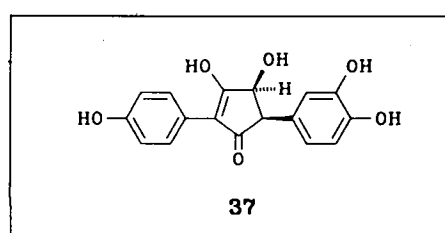


Abb. 10: Involutin (37) aus *Paxillus involutus*

Der Cadmiumgehalt ist in den meisten Pilzen gewöhnlich nicht höher als im Gemüse (<5 mg/kg Trockengewicht) und toxikologisch unbedenklich. Andererseits wurden Cadmiumgehalte von mehr als 50 mg/kg Trockengewicht in zahlreichen eßbaren Arten der Gattung *Agaricus* (*A. maleolens*, *A. campester*, *A. augustus*, *A. perrarus*, *A. silvicola*, *A. abruptibulbus*, *A. macrocarpus*, *A. arvensis*, *A. macrosporus*) gefunden; dies entspricht einer Anreicherung um den Faktor 50 bis 300 gegenüber dem umgebenden Boden! Besonders der Dünnefleischige Anisegerling (*A. silvicola*) ist stets hoch kontaminiert, wohingegen der kommerziell kultivierte Champignon (*A. bisporus*) auf unbelasteten Medien wächst und daher gewöhnlich frei von Cadmium ist. Dennoch ist der gelegentliche Verzehr auch mäßig kontaminierter Pilze vertretbar, da nur zwischen 3 und 8% des Cadmiums bei oraler Aufnahme resorbiert werden.

Ähnlich zu Cadmium können gewisse Pilze Quecksilber anreichern, selbst in Gegenden, die nicht kontaminiert sind. Besonders in den *Tricholomataceae*, *Agaricaceae* und *Lycoperdaceae* sind hohe Quecksilberspiegel häufig, und auch der Steinpilz (*Boletus edulis*), der Mairitterling (*Calocybe gambosa*) und eßbare *Lepista*-Arten enthalten gewöhnlich mehr als 10 mg/kg Trockengewicht (entsprechend ca. 1 mg/kg Frischgewicht; die von der WHO geschätzte Toleranzdosis liegt bei 0,3 mg/Tag). In *Agaricus macrosporus* oder *A. bitorquis* wurden besonders beim Sammeln auf

öffentlichen Grünflächen Konzentrationen vom mehr als 80 mg/kg Trockengewicht gefunden; es muß deshalb vor allem vom Verzehr von *A. silvicola* abgeraten werden.

Arsen, Blei und Thallium werden in Pilzen nicht selektiv angereichert und daher in ähnlichen Konzentrationen wie im grünen Gemüse gefunden; auf kontaminierten Böden wie z. B. Abraumhalden kann die Konzentration allerdings extrem hoch sein. Die Konzentration an Eisen, Kobalt und Mangan ist gewöhnlich niedriger als in grünen Pflanzen, die Konzentration von Kupfer, Zink und Silber sind normalerweise in den Pilzen ebenso hoch, wie im umgebenden Boden [87], der Selengehalt ist dem Quecksilbergehalt proportional. Die ungewöhnlich hohe Vanadiumkonzentration im Fliegenpilz (*A. muscaria*) wird durch Amavadin (38) [91] bedingt, das möglicherweise auch für den hohen Vanadiumgehalt anderer *Amanita*-Arten verantwortlich ist (Abb. 11).

Kritisch die die Fähigkeit gewisser Pilze, radioaktives Cäsium-137 und Strontium-90, aber auch Silber-110 zu speichern. Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl (1986) wurden vereinzelt Anreicherungsfaktoren von mehr als 10000 gegenüber dem Untergrund gemessen: Besonders der Kahle Krempling (*Paxillus involutus*), der Maronenröhrling (*Xerocomus badius*), >1 µCi/kg Frischgewicht) und der Steinpilz (*Boletus edulis*, 10 nCi/kg) können ungewöhnlich hohe Aktivitäten erreichen, während der Wiesenchampignon kaum strahlt.

Verantwortlich für die Akkumulation der Radioaktivität im Maronenröhrling sind die Pigmente Badion (39) und Norbadion (40) in der braunen Huthaut, die stabile Komplexe mit Kalium und besonders mit Cäsium bilden [88]. Dadurch enthält die Huthaut erheblich mehr Radioaktivität als der Restpilz; auch wird verständlich, daß Pilze mit vergleichbaren Hutpigmenten [Flockenstieler Hexenröhrling (*Boletus erythropus*), *Boletus mirabilis*] ebenfalls Radioaktivität akkumulieren, während die Aktivität z. B. im Steinpilz stets niedriger und gleichverteilt ist.

Durchschnittlich sind Pilze auch jetzt noch 10 bis 30fach höher belastet als Obst oder Gemüse, Pilze aus Nadelwald stärker als Pilze aus Mischwald oder von Wiesen [89]. Dennoch ist die Strahlenbelastung durch Pilze derzeit kaum mehr kritisch: Denn der Verzehr von 1 kg Pfifferlingen mit 30 nCi Cäsium-137 und 15 nCi Cäsium-134 führt zu einer Belastung von nur 0,23 mrem, die gegenüber der durch die Nahrung aufgenommenen Gesamtbelastung von 65 mrem kaum ins Gewicht fällt [90].

Resümee

Wegen ihres Aromas und ihres angenehmen Geschmacks sind Pilze zwar eine geschätzte Bereicherung unseres Speisezettels, jedoch „klaffen gastronomische Erwartungen und das Risiko des Pilzessens gelegentlich weit auseinander“ [92]. Denn nicht nur die ausgesprochenen Giftpilze, sondern

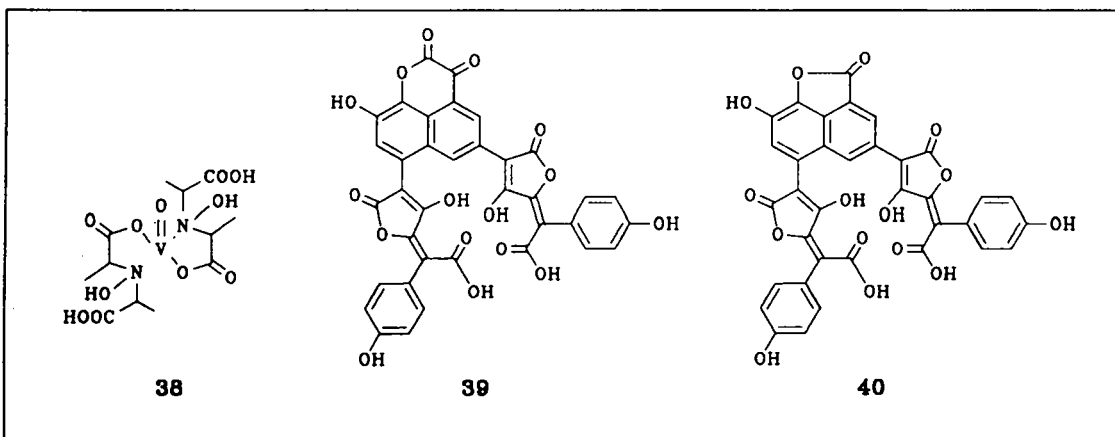


Abb. 11: Amavadin (38), Badion A (39) und Norbadion (40)

auch die meisten Speisepilze enthalten bis in den Prozentbereich eine Vielzahl ungewöhnlicher chemischer Verbindungen [15], über deren biologische Eigenschaften wir kaum etwas wissen. Die Struktur vieler dieser Substanzen und ihre Ähnlichkeit mit Verbindungen bekannter Toxizität sowie die im Reagenzglas beobachtete Reaktivität mancher Inhaltsstoffe lassen jedoch auch unerwünschte Wirkungen unter physiologischen Bedingungen erwarten; dies gilt besonders für den Genuß roher Pilze [86].

Literatur über Schwermetalle in Pilzen

- [87] ALLEN, R.O., STEINNES, E.: Concentrations of some potentially toxic metals and other trace elements in wild mushrooms from Norway. *Chemosphere* **7**, 371–378 (1978)
- [88] AUMANN, D.C., CLOOTH, G., STEFAN, B., STEGLICH, W.: Komplexierung von Caesium-137 durch die Hutfarbstoffe des Maronenröhrlings (*Xerocomus badius*). *Angew. Chem.* **101**, 495–496 (1989)
- [89] BATTISTON, G.A., DEGETTO, S., GERBASI, R., SBRIGNADELLO, G.: Radioactivity in mushrooms in northeast Italy following the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* **9**(1), 53–60 (1989)
- [90] GERZABEK, M., HAUNOLD, E., HORAK, O.: Radioaktivität in Pilzen. *Bodenkultur* **39** (1), 37–52 (1988)
- [91] KNEIFEL, H., BAYER, E.: Structure determination of the vanadium compound from fly amanitas amavadin. *Angew. Chem.* **85**, 542–543 (1973)
- [92] *Nutritional Data*: 3rd ed. H.J. Heinz Co., Pittsburgh, Pennsylvania (1956)
- [93] SEEGER, R.: Toxische Schwermetalle in Pilzen. *Dtsch. Apoth.-Ztg.* **122**, 1835–1844 (1982)