

Geschichte der Mykologie und Holzpathologie

OLAF TACKMANN, OLAF SCHMIDT & WALTER LIESE

TACKMANN, O., SCHMIDT, O. & W. LIESE (2009): History of mycology and wood pathology. *Z. Mykol.* 75/1: 13-32

Key words: Mycology, Wood pathology, History, Current research.

Abstract: An overview is given on the history of mycology and on the development of wood pathology.

Zusammenfassung: Es wird ein Überblick der Mykologie allgemein und zur Entwicklung der Holzpathologie gegeben.

Einleitung

Das Wort Mykologie leitet sich von dem griechischen $\mu\acute{\upsilon}\kappa\epsilon\varsigma$ (mýkes, Pilz) ab. Der Begriff wurde als „Mycologie“ im 18. Jahrhundert von **C.H. Persoon** geprägt und hat sich rasch als Terminus für die Pilzkunde verbreitet. Das Wort „fungus“ für Pilz nannte der römische Dichter Titus Maccius Plautus (um 254–184 v. Chr.). Die auf Ernst E. Hubert's (1931) „wood pathology“ zurückgehende Bezeichnung Holzpathologie für die Holzschäden durch Pilze (Holzerstörung durch Braun-, Weiß- und Moderfäulepilze sowie Verfärbung durch Bläue- und Schimmelpilze) wurde im deutschen Sprachgebrauch üblich. Sie ist jedoch unzutreffend, da bereits der Holzkörper des Baumes nur wenige lebende Zellen (Parenchym) enthält, die nach dem Fällen absterben, und totes Gewebe nicht erkranken kann. Im Englischen sind „fungal deterioration“ für ungewollte Zerstörung und „degradation“ für gelenkten Abbau („Biotechnologie der Lignocellulosen“) treffender.

Nachfolgend wird ein Überblick der Entwicklung der Mykologie allgemein sowie des um 1870 entstandenen Teilgebietes „Holzpathologie“ gegeben. Eine kurze, lückenlose Chronik über eine derart lange Zeitspanne ist nicht möglich. Dazu wird auf das umfassende Werk von DÖRFELT & HEKLAU (1998) verwiesen. Auch die Darstellung der Holzpathologie kann nicht alle Aspekte nennen. Als Quellen dienten BAVENDAMM (1936, 1955, 1963, 1974), LIESE (1967), SCHULTZE-DEWITZ (1969), MÜLLER & LOEFFLER (1992), SCHWANTES (1996), MOLITORIS (2005), SCHMIDT (2006) und Wikipedia.org. Über die holzpathologische Forschung im angelsächsischen Sprachraum berichteten u. a. ZABEL & MORRELL (1992).

Ein Ausblick betont die derzeitigen molekularen Arbeiten an Holzpilzen.

Anschrift der Autoren: Institut für Holzbiologie, Zentrum Holzwirtschaft, Universität Hamburg, Leuschnerstr. 91, D-21031 Hamburg. E-mail: o.schmidt@holz.uni-hamburg.de

Frühe Kenntnisse

Bereits vor 6000 Jahren konnten die Menschen in Ägypten und Mesopotamien Trauben, Honig und Datteln zu Wein vergären. Vor 5000 Jahren wurde in Ägypten Bier aus Gerste gebraut. In Griechenland war dieses erst um 700 v. Chr. bekannt; Bier diente hauptsächlich medizinischen Zwecken und weniger als Genussmittel. Die rund 5300 Jahre alte Gletschermumie vom Hauslabjoch („Ötzi“) trug Zunder (Zunderschwamm, *Fomes fomentarius*) und vermutlich als Heilmittel Birkenporlinge (*Piptoporus betulinus*) bei sich. Pilzkrankheiten an Kulturpflanzen, z.B. Weizen, waren bereits den Sumerern um 3500 v. Chr. bekannt, wie Zaubersprüche auf Tontafeln als Gegenmittel zeigen. Schon vor rund 2500 Jahren wurde in Ostasien Sojasoße durch Pilzfermentation veredelt. Funde aus der Maya-Kultur belegen umfangreiches medizinisches Wissen über halluzinogene Inhaltsstoffe und die Heilwirkung von Pilzen. Die in Guatemala gefundenen Steinskulpturen („Pilzsteine“, 1500 v. bis 500 n. Chr.; Abb. 1) zeigen, dass bei rituellen Handlungen vermutlich halluzinogene Pilze gereicht wurden.

Altertum (500 v. bis 500 n. Chr.)

Schon um 500 v. Chr. wurden Pilze bei Vergiftungen erwähnt. Der griechische Dichter **Epicharmos** (um 550–460 v. Chr.) berichtete von Pilzen, die zu Erstickungsanfällen führten. Der Dichter **Euripides** (um 485–406 v. Chr.) beschrieb die Pilzvergiftung einer Frau und ihrer drei Kinder. In den Werken „Corpus Hippocraticum“ des griechischen Arztes **Hippokrates von Kos** (um 460–370 v. Chr.; Abb. 2) sind Arzneimittel gegen Pilzvergiftungen genannt. Der griechische Arzt **Diokles von Karystos** (um 400–350 v. Chr.) erwähnte in einer botanisch-pharmakologischen Arbeit vermutlich erstmals Trüffeln. Der griechische Gelehrte **Aristoteles** (384–322 v. Chr.; Abb. 3) befasste sich erstmalig mit der Biologie der Pilze. Er erwähnte sie mit seinen Ideen zur spontanen Entstehung des Lebens, der Urzeugung „generatio spontanea“, die sich bis weit in die Neuzeit hielten, und betonte, dass es neben den Pflanzen aus Samen auch solche gäbe, die sich spontan bei Fäulnisprozessen entwickeln. Der griechische Dichter **Nikandros von Kolophon** (um 197–130 v. Chr.) beschrieb Pilze, die nahe Schlangenlöchern wachsen als vom Gift der Schlangen angehaucht und dadurch giftig. Laut Tacitus wurde Kaiser Claudius von seiner vierten Frau Agrippina 54 n. Chr. durch ein entweder mit dem Grünen Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*) oder mit einem Gift versetztes Pilzgericht (Kaiserling, *Amanita caesarea*) ermordet, so dass deren Sohn Nero an die Macht kommen konnte.

In ersten systematischen Ansätzen gliederte der römische Offizier, Gelehrte und Enzyklopädist **Gaius Plinius Secundus Maior** (**Plinius der Ältere**; 23/24–79 n. Chr.; Abb. 4) die Pilze in die Gruppen Fungus (Hutpilz), Agaricus (Lärchenporling), Suillus (Steinpilz), Tuber (Trüffel) und Boletus (Kaiserling). Der griechische Arzt **Pedanius Dioskorides** (um 30–80 n. Chr.) beschrieb die drei Pilzsippen Tubera (Trüffeln), Fungi (Hutpilze) und Agaricum (dimitate Porlinge).

Zu den bedeutenden Werken dieser Epoche über Pilze gehören die Schriften des griechischen Arztes **Galenos von Pergamon** (um 129–199/216; Abb. 5). Sie blieben im gesamten Mittelalter gültig, wurden viel genutzt und überarbeitet.

Der Shii-take (*Lentinula edodes*) wurde bereits vor etwa 2000 Jahren in Asien, besonders in Japan als Speisepilz auf Holz angebaut, ohne Kenntnis der biologischen Hintergründe (siehe CHANG & HAYES 1978).

Der erste dokumentierte Pilzschaden in Gebäuden im 3. Buch **Mose**, Kapitel 14, Verse 33–48 beschreibt einen Befall mit dem Echten Hausschwamm (*Serpula lacrymans*). Die Darstellung mit



Abb. 1–6: 1: Pilzstein der Maya. Höhe 33,5 cm. – 2: Hippokrates von Kos. – 3: Aristoteles. – 4: Gaius Plinius Secundus Maior (Plinius der Ältere). – 5: Galenos von Pergamon. – 6: Ibn Sina.

Begutachtung durch einen Priester (Sachverständiger), Entfernung und Entsorgung der infizierten Gebäudeteile, Behandlung des Mauerwerks, Einbau neuen Materials sowie Erfolgskontrolle entspricht den Grundsätzen der heutigen Norm DIN 68800, Teil 4 („Holzschutz – Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten“).

Das empirische Wissen im Altertum über Medizin, Biologie und Philosophie ist derart umfangreich, dass es als erste niedergeschriebene Naturwissenschaft bezeichnet werden kann. Trotz der zahlreichen Ideen und Beschreibungen zur Biologie der Pilze und ihrer Systematik gibt es jedoch keinen in den Grundzügen richtigen Ansatz zu ihrer Entstehung. Alle Denker dieser Epoche und des folgenden Zeitalters glaubten an die These der Urzeugung.

Mittelalter (500 bis 1500)

Im Mittelalter waren Bildung und Wissenschaft eng mit dem Klerus und Adel verbunden. Eine Ausnahme war der persische Arzt **Ibn Sina** (980–1037; Abb. 6), bekannt auch unter dem Namen Avicenna, der zugleich Philosoph, Jurist, Physiker, Mathematiker, Astronom und Alchemist war.

In seiner Schrift „Canon medicinae“ vereinte er römische, griechische und persische medizinische Kenntnisse, und sein 5. Buch enthält unter den über 750 Heilmitteln auch Pilze.

Nach Verzehr von Brot mit hohem Anteil an giftigen Sklerotium-Alkaloiden von *Claviceps purpurea* (Mutterkorn „Secale cornutum“ an Roggen und Weizen) soll es im Jahr 857 in Xanten eine Epidemie gegeben haben, und in Frankreich sollen 994 daran etwa 40 000 und 1129 um 14 000 Menschen gestorben sein. Der ursächliche Zusammenhang von Mutterkorn und Kribbelkrankheit (Ergotismus, Heiliges Feuer „sacer ignis“, Höllenfeuer oder St. Antonius-Feuer; Abb. 7) war bereits der Bruderschaft zum Heiligen Antonius bekannt, jedoch ohne Wissen über den Erreger der Sklerotienbildung, den erst der französische Mykologe Louis René **Tulasne** (1815–1885; Abb. 8) erkannte.

In dem Werk „Liber subtilitatum diversarum naturarum creaturarum“ der Äbtissin **Hildegard von Bingen** (1098–1179; Abb. 9) hatten die Pilze einen bedeutenden Anteil. Sie erkannte als erste die Baumpilze an Buche, Nussbaum, Weide, Zitterpappel, Birnbaum und Holunder als eigenständige Organismen, glaubte jedoch weiterhin an die spontane Entstehung des Lebens. Auch der deutsche Theologe, Philosoph und Naturwissenschaftler im Dominikanerorden **Albertus Magnus** (1193–1280; Abb. 10) unterstrich die „Urzeugung“, indem Pilze durch Ausdünstung und Fäulnis entstünden. Seine Darstellung von *Amanita muscaria* ist die erste klare Pilzbeschreibung durch makroskopische Merkmale. In Kräuterbüchern, z.B. von dem deutschen Theologen und Arzt **Hieronymus Bock** (1498–1554; Abb. 11), waren Pilze „überflüssige Feuchtigkeit der Erde, der Bäume und des faulenden Holzes“.

Ebenfalls in das späte Mittelalter ist die Entstehung des Wortes Pilz einzuordnen. In den Klosterküchen, wie in der Landbevölkerung, wurden Pilze häufig für Speisezwecke verwendet. Ihre Bezeichnung im klösterlichen Küchenlatein führte zur Übertragung des bis in die Neuzeit für den Kaiserling und ähnliche Pilze benutzten lateinischen „boletus“ in den deutschen Sprachgebrauch: Boletus wurde „bolitus“ und später „boliz“, „bülez“ oder „bütz“ geschrieben und führte zum neuhochdeutschen „Pilz“.

Im Mittelalter waren neue Erkenntnisse gering und wogen den Verfall des antiken Wissens nicht auf. Ein Großteil der Schriften entstand in Klöstern und Klosterschulen, da die Mönche die Schriften der Antike erschließen konnten. Bei den mehrfachen Abschriften ist davon auszugehen, dass sie auch unvollständig, abgeändert oder gar verfälscht wurden.

16. bis 18. Jahrhundert

Das 16. und 17. Jahrhundert brachten Fortschritte zur Biologie und Systematik der Pilze. Der italienische Naturwissenschaftler Giambattista **della Porta** (1539–1615; Abb. 12) beschrieb 1588 in „Phytognomica“ erstmals die Fortpflanzung der Pilze aus „Samen“. Wegen seiner Beschäftigung mit Magie und Physionomie durch die beschriebenen Pflanzen, Pilze und deren Wirkstoffe musste er sich 1592 vor der Inquisition verantworten und seine wissenschaftlichen Arbeiten beenden. Das bedeutendste mykologische Werk der Renaissance ist die Darstellung des niederländischen Botanikers Carolus **Clusius** (1526–1609) „Fungorum in Pannoniis observatorum brevis historia“ von 1601, die erstmals ausschließlich Pilze umfasste. Er gliederte die Pilze in 21 „Geschlechter“ der „Fungi esculenti“ (essbar) und 26 Geschlechter „Fungi perniciosales“ (schädlich), beide Gruppen mit bis zu sieben „species“. Eine umfangreichere Gliederung, „Pinax theatri botanici“ (1623), durch den schweizerischen Arzt und Botaniker Casper **Bauhin** (1560–1624; Abb. 13) behandelte 34 essbare und 44 giftige Pilze. Nach Erfindung des Mikroskops aus Okular, Objek-



Abb. 7–12: 7: Ausschnitt aus dem Isenheimer Altar (Matthias Grünewald) mit einem um Heilung Flehenden, der u. a. am Antoniusfeuer erkrankt ist. (Deformation des linken Armes). – 8: Louis René Tulasne. – 9: Hildegard von Bingen. 10: Albertus Magnus. – 11: Hieronymus Bock. – 12: Giambattista della Porta.

tiv und verstellbarem Tubus durch die Holländer Hans und Zacharias **Jansen** um 1590 kam es im 17. Jahrhundert zu zahlreichen Entdeckungen von mikroskopischen Pilzstrukturen. Der Delfter Kaufmann und Naturforscher Antoni **van Leeuwenhoek** (1632–1723; Abb. 14) ist der bekannteste Mikroskopiker dieser Zeit; er beschrieb auch Hefen und Schimmelpilze. Der englische Mechaniker und Naturwissenschaftler Robert **Hooke** (1635–1703; Abb. 15) veröffentlichte 1665 in „Micrographia“ erstmals mikroskopische Zeichnungen der Sporocysten von Zygomyceten und Teliosporen einer *Phragmidium*-Art. Der flämische Geistliche Franciscus **Sterbeek** (1630–1694) zeigte 1675 in „Theatrum Fungorum“ über 250 „Sippen“, zumeist als Kupferstiche. Das nicht lateinisch sondern in niederländischer Sprache geschriebene Buch führte zu einer Popularisierung der Pilzkunde. Seine Darstellung eines Schimmelpilzes mit Abbildung auf der Buchhülle gilt als Meilenstein von der ersten Entdeckung der Schimmelpilze als pilzliche Organismen durch Hooke bis zur ersten umfassenden Darstellung mikroskopischer Strukturen durch den Florentiner Garteninspektor Pier Antonio **Micheli** (1679–1737; Abb. 16). Micheli beschrieb und gruppierte



13



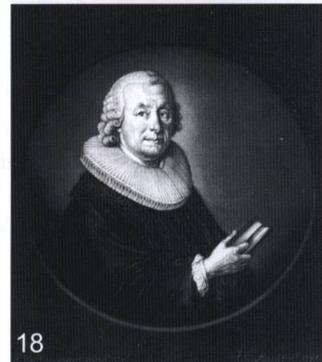
15



16



17 GIOV. TARGIONI



18

Abb. 13–18: 13: Caspar Bauhin. – 14: Antoni van Leeuwenhoek. – 15: Robert Hooke. – 16: Pier Antonio Micheli. – 17: Giovanni Targioni-Tozzetti. – 18: Jacob Christian Schaeffer.

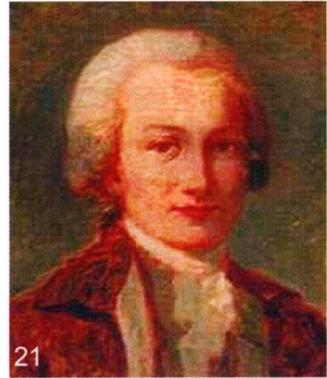
bereits etwa 900 Pilzarten („Nova plantarum genera“ 1729), machte Wuchsversuche mit Schimmelpilzen auf Melonen- und Birnenscheiben und wird als Begründer der wissenschaftlichen Mykologie angesehen. Der französische Gelehrte Matthieu **Tillet** (1714–1791) zeigte die Verbreitung des Weizensteinbrandes (*Tilletia tritici*) durch Infektion des Saatgutes. Der Toskaner Naturwissenschaftler und Mediziner Giovanni **Targioni-Tozzetti** (1712–1783; Abb. 17) erklärte 1767 den Rost als durch Mikroorganismen verursachte Pflanzenkrankheit. Beide gelten als Väter der angewandten Mykologie und Phytopathologie. In Deutschland wurde die Mykologie durch den Regensburger Pfarrer und Naturwissenschaftler Jacob Christian **Schaeffer** (1718–1790; Abb. 18) begründet, der in vier Bänden die damals umfangreichste Zusammenstellung von etwa 400 Pilzen Bayerns handkoloriert abbildete („Fungorum qui in Bavaria et Palanatu circa Ratisbonam nascuntur icones nativis coloribus expressae“ 1762–1764). Vergleichbare Werke entstanden um 1780 durch den französischen Arzt und Botaniker Jean Baptiste François Pierre **Bulliard** (1752–1793; Abb. 19; „Histoire des champignons de la France“) und durch den englischen Maler und Naturforscher James **Sowerby** (1757–1822; Abb. 20; „Coloured figures of English fungi“). Eine systematische Arbeit zur Klassifizierung versuchte der französische Mediziner und Mykologe Jean Jacques **Paulet** (1740–1826; Abb. 21) mit „Traité des champignons ...“ (1793).



19



20



21

Abb. 19–21: 19: Jean Baptiste François Pierre Bulliard. – 20: James Sowerby. – 21: Jean Jacques Paulet.

Insgesamt jedoch kam es in der Renaissance bis zum Hochbarock nur zu wenigen pilzlichen Neuentdeckungen. Viele Arbeiten unterlagen der Inquisition. Fäulnis wurde noch bis etwa 1800 als Strafe Gottes angesehen, und Fruchtkörper galten als Ekzeme.

19. Jahrhundert

Mit Beginn des 19. Jahrhunderts bearbeiteten Wissenschaftler nahezu ausschließlich mykologische Themen, speziell die Systematik: Der am Kap der Guten Hoffnung geborene und später in Deutschland tätige Botaniker und Mykologe Christiaan Hendrik **Persoon** (1761–1836; Abb. 22) setzte 1801 mit „Synopsis methodica fungorum“ Maßstäbe für die Pilzsystematik. Der schwedische Botaniker und Mykologe Elias Magnus **Fries** (1794–1878; Abb. 23) begründete 1821 bis 1832 mit „Systema mycologicum“ den Start der Pilznomenklatur. Diese und auch weitere Werke haben Bedeutung für die Systematik der Großpilze.

Zahlreiche Veröffentlichungen galten der Vielfalt der Pilze, so von dem nordamerikanischen Theologen und Mykologen Ludwig Lewis David **von Schweinitz** (1780–1834; Abb. 24), dem englischen Geistlichen und Botaniker Miles Joseph **Berkeley** (1803–1887; Abb. 25), dem französischen Militärarzt und Botaniker Jean Pierre François Camille **Montagne** (1784–1866; Abb. 26), dem italienischen Mykologen Carlo Luigi **Spegazzini** (1858–1926; Abb. 27) sowie dem deutschen Pfarrer und Mykologen Adalbert **Ricken** (1851–1921).

Der Braunschweiger Botaniker **Theodor Hartig** (1805–1880; Abb. 28) erkannte 1833 in faulem Holz Hyphen, hielt sie aber für ein natürliches Ereignis der Holzalterung. Der französische Botaniker, Physiker und Physiologe Henri René Joachim **Dutrochet** (1776–1847; Abb. 29) zeigte 1834, dass Fruchtkörper lediglich die Sporenträger eines verzweigten, fädigen Organismus in der Erde oder in Bäumen sind. Basidien wurden 1836/37 mehrfach als sporenbildende Zellen erkannt, so durch den französischen Arzt und Mykologen Joseph Henri **Léveillé** (1796–1870; „Recherches sur l'hymenium de champignon“ 1837). Der schweizer Apotheker und Mykologe Jacob Gabriel **Trog** (1781–1865) bewies 1837 das mitunter jahrelange Überdauern des Mycels.

Jedoch noch 1850 führte der deutsche Chemiker Justus **von Liebig** (1803–1873; Abb. 30) Fäulnis auf eine „langsame Verbrennung“ zurück. Als bahnbrechende Arbeit dieser Zeit gilt das Werk des englischen Naturforschers Charles Robert **Darwin** (1809–1882; Abb. 31) über die Evo-



22



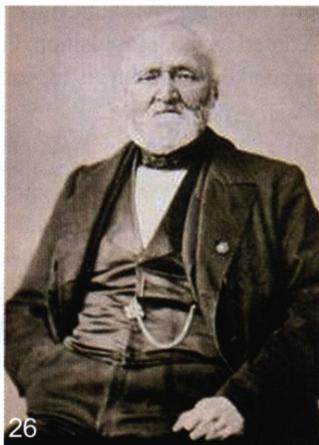
23



24



25



26



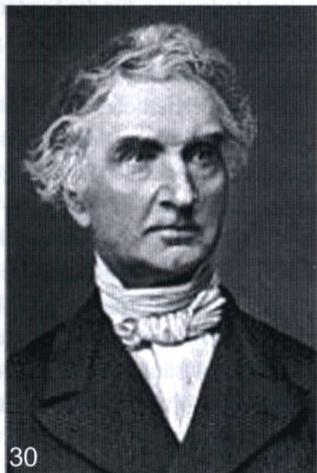
27



28



29



30

Abb. 22–30: 22: Christiaan Hendrik Persoon. – 23: Elias Magnus Fries. – 24: Ludwig Lewis David von Schweinitz. – 25: Miles Joseph Berkeley. – 26: Jean Pierre François Camille Montagne. – 27: Carlo Luigi Spegazzini. – 28: Theodor Hartig. – 29: Henri René Joachim Dutrochet. – 30: Justus v. Liebig.

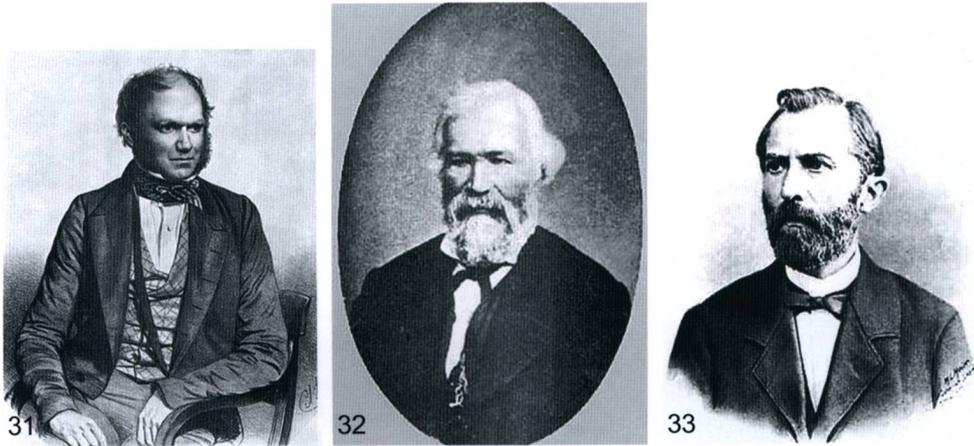


Abb. 31–33: 31: Charles Robert Darwin. – 32: Louis Rene Tulasne. – 33: Heinrich Anton de Bary.

lutionstheorie von 1859 „On the origin of species by the means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle of life“, welches auch in der Mykologie zu neuen Denkansätzen führte. In Darwins Schatten blieb der britische Naturforscher Alfred Russel **Wallace** (1823–1913), dessen „Ternate-Manuskript“ bereits 1888 den Mechanismus der Evolution beschrieb (GLAUBRECHT 2008).

In Paris arbeiteten 1861–1865 die Brüder Louis René **Tulasne** (1815–1885; Abb. 32) und Charles Tulasne (1816–1884) über unterirdische Pilzformen, Sporenbildung und -keimung von Rost-, Brand- und Schlauchpilzen, die Entwicklung beim Mutterkorn und entdeckten die Sexualorgane von *Peronospora*.

Der Bonner Botaniker Hermann **Schacht** (1814–1864) beschrieb 1863 Veränderungen an der Holzzellwand, hielt Pilze aber weiterhin nicht für ursächlich, sondern als eine Folge.

Die Urzeugungstheorie und andere irrije Auffassungen wurden Mitte des 19. Jahrhunderts durch die bahnbrechenden Arbeiten des Hallenser Botanikers Heinrich Anton **de Bary** (1831–1888; Abb. 33) und des französischen Chemikers und Mikrobiologen Louis **Pasteur** (1822–1895; Abb. 34) widerlegt, die Mikroorganismen als Verursacher von Pflanzenkrankheiten sowie Schädling und Wirt als zwei getrennte Lebewesen nachwies. De Bary beobachtete die Sexualität niederer Pilze und Schleimpilze, indem er ihre Entwicklung von der Spore bis zum Fruchtkörper verfolgte, erkannte Rostpilze als echte Parasiten und zeigte *Phytophthora infestans* als Erreger der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel. De Bary's Beschreibung über das Eindringen von Keimen in Wirtspflanzen oder -tiere („Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze, Myzetozen und Bakterien“, 1884) war der Grundstein für die Entwicklung der Lehre von den Pflanzen- und Baumkrankheiten. Pasteur lieferte den Beweis, dass keine Urzeugung möglich ist („omnium vivum ex vivo“), führte die ersten mikrobiellen Reinkulturen auf sterilisiertem Nährboden durch. Seine Untersuchungen zur Gärung bedeuten den Anfang der technischen Mykologie.

Der deutsche Botaniker und Mykologe Julius Oscar **Brefeld** (1839–1925) verwendete Gelatine für feste Nährböden (1871), wie später der Mediziner Robert Koch, und ihm gelang 1877 die erste Kultivierung von den Basidiosporen bis zum Fruchtkörper. Agar als Nährboden für Mikroorganismen wurde 1883 von dem Mikrobiologen Walther Hesse als Idee seiner Frau Fanny



34



35



36

Abb. 34–36: 34: Louis Pasteur. – 35: Hans Molisch. – 36: Theophrastos von Eresos.

Angelina **Hesse** (1850–1934) beschrieben, die Agar für Fruchtgelee und Gemüsesülze verwendete und die auf diesen Substraten ungewollt gewachsene Pilze und Bakterien auf Agar weiter kultivierte. Die ersten Reinkulturen von Pilzen (Brandpilze) erfolgten 1881 durch J.O. Brefeld und 1900 durch den österreichischen Botaniker Hans **Molisch** (1856–1937; Abb. 35) mit dem Hallimasch.

Die schon von **Theophrastos von Eresos** (um 371–287 v.Chr.; Abb. 36) und Plinius beobachtete Beziehung zwischen Trüffeln und Bäumen wurde von dem französischen Pharmazeuten und Mykologen Jean Louis Émile **Boudier** (1828–1920; Abb. 37) aufgegriffen und die Mykorrhiza 1876 als parasitische Erscheinung an Wurzeln beschrieben. Den Begriff Mykorrhiza prägte der Berliner Pflanzenphysiologe Albert Bernhard **Frank** (1839–1900; Abb. 38) im Jahre 1885 in der Arbeit „Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze“.

Kenntnisse über das vegetative Mycelwachstum und die Auslösung der Fruchtkörperbildung entstanden um 1900 durch den Hallenser Botaniker Georg Albrecht **Klebs** (1857–1918; Abb. 39). Die Sexualität der Pilze beschrieb der amerikanische Botaniker Albert Francis **Blakeslee** (1874–1954; Abb. 40) zwischen 1904 und 1915 bei den Mucorineen, der Erlanger Peter Heinrich **Claussen** (1877–1959; Abb. 41) bei Ascomyceten („Zur Entwicklungsgeschichte der Ascomyceten“, 1912) und der Berliner Pflanzenphysiologe Karl Johannes **Kniep** (1881–1930) bei Basidiomyceten („Sexualität der niederen Pflanzen“ 1930). Der Finne Kari **Korhonen** entdeckte später die Interfertilitäts- bzw. Intersterilitätsgruppen bei den Baumpilzen *Armillaria mellea* (KORHONEN 1978a) und *Heterobasidion annosum* (KORHONEN 1978b).

Der schweizer Mykologe Ernst Albert **Gäumann** (1893–1963) fasste 1946 („Pflanzliche Infektionslehre“) die Grundlagen pilzlicher Pflanzenkrankheiten zusammen.

Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Bedeutung einer Organisation für die mykologische Forschung auf staatlicher Ebene erkannt. Frankreich gründete 1884 die erste mykologische Gesellschaft, die „Société Mycologique de France“; 1896 entstand die „British Mycological Society“. Es folgten die Schweiz (1918), Deutschland (1921), Tschechoslowakei (1921), Holland (1929), Dänemark (1931) und USA (1931). Die im Deutschen Reich gegründete „Deut-



Abb. 37–42: 37: Jean Louis Émile Boudier. – 38: Albert Bernhard Frank. – 39: Georg Albrecht Klebs. – 40: Albert Francis Blakeslee. – 41: Peter Heinrich Claussen. – 42: Robert Hartig.

sche Gesellschaft für Pilzkunde“ wurde 1977 in „Deutsche Gesellschaft für Mykologie (DGfM)“ umbenannt.

Entwicklung der Holzpathologie

Der Eberswalder Forstbotaniker und Pflanzenpathologe Heinrich Julius Adolph **Robert Hartig** (1839–1901; Abb. 42) beschrieb in „Wichtige Krankheiten der Waldbäume“ (1874) erstmals den Kausalzusammenhang zwischen pilzlichem Erreger und Schaden (HARTIG 1874). Er ist somit der Begründer der Forst- und Holzpathologie (siehe GÖTZE et al. 1989, MERRILL et al. 1975). Hartig wies weiterhin nach, dass für eine Erkrankung des Baumes Pilze eindringen müssen (HARTIG 1878).

Die ersten Reinkulturen mit Holzpilzen machte der Münchener Agrobotaniker und Pflanzenpathologe Carl **von Tubeuf** (1862–1941) mit dem Hausschwamm (v. TUBEUF 1902) und der Tharandter und Münchener Forstwissenschaftler Ernst **Münch** (1876–1946) mit Bläuepilzen (MÜNCH 1907).

Der Echte Hausschwamm (*Serpula lacrymans*) gilt als ökonomisch wichtigster Holzpilz: Der Pilz zerstört Holz am Ende der Prozessfolge „Forstwirtschaft – Holzernte – Verarbeitung – Verwendung im Innenbau“ und ist in vielen Ländern der häufigste Gebäudepilz. Die beträchtlichen wirtschaftlichen Schäden durch den Hausschwamm führten 1905 zur Gründung der „Hausschwamm-Kommission“ durch die preußische Regierung. Eine frühe Beschreibung der Schäden durch den Hausschwamm und weitere Pilze an verbautem Holz erfolgte 1908 durch den deutschen Botaniker Carl Christian **Mez** (1866–1944). Das „Institut für Technische Mykologie“ in München begründete 1910 der Chemiker und Mykologe Richard **Falck** (1873–1955). Falck veröffentlichte in den Büchern „Hausschwammforschungen“ von Alfred **Möller** beispielsweise die „Strangdiagnose“ zur Unterscheidung der häufigen Hausfäulepilze (FALCK 1912); erst später konnten 20 Strang bildende Gebäudepilze makro- und mikroskopisch unterschieden werden (HUCKFELDT & SCHMIDT 2004). Falck gilt als Begründer der „Hausschwammforschung“ (siehe HÜTTERMANN 1991). Ihm gelang die Ausreifung von Fruchtkörpern des Hausschwammes in Laborkultur (FALCK 1907), und er unterschied den Holzabbau durch Weiß- und Braunfäulepilze (FALCK 1927). Umfangreiche Untersuchungen zum Hausschwamm und weiteren Holzpilzen erfolgten später durch Jerzy **Ważny** in Polen (u. a. WAŻNY 1961) und Oskar **Wälchli** in der Schweiz (u. a. WÄLCHLI 1991; siehe LIESE 1988) sowie derzeit von Shuichi **Doi** in Japan (u. a. DOI 1991), John W. **Palfreyman** in Schottland (u. a. PALFREYMAN & LOW 2002) und in unserem Institut (SCHMIDT 2003). Ważny (WAŻNY & THORNTON 1989) und der Berliner Martin **Gersonde** beschrieben physiologische Unterschiede zwischen verschiedenen Isolaten („Stammvarianz“) des Hausschwammes und weiterer Pilze (GERSONDE 1958).

Falck beobachtete bereits 1920 die antibiotische Wirkung eines Pilzes gegen andere Mikroorganismen. Er isolierte gezielt „Sparassol“ aus *Sparassis crispa*, kristallisierte zusammen mit dem Chemiker E. Wedekind zwei Gramm reine Substanz und bestimmte seine Struktur, ein Kenntnisstand über ein Antibiotikum, den A. Fleming’s zufällig entdecktes Penicillin erst rund 20 Jahre später erreichte (siehe HÜTTERMANN 1991). Im Jahr 1931 zeigte Falck, dass von *Trichoderma* infiziertes Holz gegenüber der Zersetzung durch *Serpula lacrymans* und *Coniophora puteana* widerstandsfähig ist. Die Verwendung von antagonistischen Bakterien und Pilzen gegen Baum- und Holzschädlinge wurde später vielfach untersucht (siehe HOLDENRIEDER 1998). Der „Biologische Forstschutz“ durch Stubbenbehandlung von Fichten und Kiefern mit Sporen von *Phlebiopsis gigantea* gegen die Besiedlung mit *Heterobasidion annosum* wird erfolgreich in der Praxis angewendet (RISHBETH 1963). Dagegen haben die zahlreichen Laborversuche zum „Biologischen Holzschutz“ gegen Fäulepilze, wie die Verwendung von *Trichoderma*-Arten und *Gliocladium virens* (HIGHLEY & RICARD 1988) sowie von Kulturfiltraten von *Chaetomium globosum* und *Sporotrichum pulverulentum* (ANANTHAPADMANABHA et al. 1992), keine praktische Nutzung erreicht. Eine farblose Mutante des Bläuepilzes *Ophiostoma piliferum* wurde erfolgreich gegen Holzverfärbung durch Bläuepilze eingesetzt (BLANCHETTE et al. 1994, SCHMIDT & MÜLLER 1996).

Erste Laborversuche zum pilzlichen Holzabbau wurden 1860 von H. **Nördlinger** durchgeführt, der Holz in Gefäße mit faulenden Stoffen („Faultopf“) steckte und seine Zersetzung beobachtete. In einem Versuchskeller setzte der Hannoveraner Carl **Wehmer** 1913 Mycelreinkulturen vom Hausschwamm für Abbaueversuche ein und beobachtete die Auswirkungen von Temperatur und Feuchte (WEHMER 1915). Auch C.J. **Humphrey** verwendete 1915 bereits Pilzmonokulturen, mit denen er Holz in Glasröhrchen infizierte. Um 1930 erfolgten umfangreiche Laborversuche mit Holzpilzen. Der Tharandter und später in unserem Institut tätige Werner **Bavendamm**

(1898–1981, siehe LIESE 1968) entwickelte den „Bavendamm-Test“ zum Erkennen von Weiß- und Braunfäulepilzen im Labor (BAVENDAMM 1928), der noch heute zu den ersten Merkmalen in Diagnoseschlüsseln gehört; er führte die Braunfärbung des Tannin-haltigen Agars durch die Lignin-abbauenden Weißfäulepilze auf die Phenoloxidase Laccase zurück. Bavendamm beurteilte erstmals die Basidiomyceten-Resistenz einer Holzart mittels einer mathematischen Beziehung, indem er den prozentualen Gewichtsverlust der zu untersuchenden Holzart in Beziehung zu dem einer gut bekannten, einheimischen Holzart setzte. Der Eberswalder **Johannes Liese** (1891–1952) bestimmte pilzbedingte Holzmasseverluste zur Charakterisierung von Holzpilzen, ein bis heute gängiges Verfahren, und propagierte die Kolleschale als Kulturgefäß für Basidio-myceten zur Prüfung der Wirksamkeit von Holzschutzmitteln („Klötzchenmethode in Kolleschalen“, heutige europäische Norm EN 113; siehe J. LIESE 1950). Eine umfassende Darstellung der Biologie der holzerstörenden und verfärbenden Pilze veröffentlichte Vladimir **Rypáček** (1910–1994) in Brünn 1957 zunächst in tschechischer Sprache und später in Deutsch (RYPÁČEK 1966). Entsprechende Übersichten erfolgten in unserem Institut durch SCHMIDT (1994, 2006). In Berlin wies Gerda **Theden** nach, dass einige Hausfäulepilze, wie *Oligoporus placenta*, mehr als 11 Jahre in trockenen Holzklötzchen überleben und bei Befeuchtung erneut auswachsen (THEDEN 1972). Das Überdauern widriger Bedingungen in Holz, wie andauernde Trockenheit und Temperaturen über 95 °C, wurde mit der Bildung von resistenten Arthrosporen erklärt (HUCKFELDT & SCHMIDT 2006).

Bestimmungsschlüssel für Holzpilze, falls weder Fruchtkörper noch Stränge sondern nur Mycel vorliegen, erarbeiteten der Nordamerikaner Ross W. **Davidson** und Mitarbeiter (1942), die Kanadierin Mildred K. **Nobles** (1948, 1965), der Niederländer Joost A. **Stalpers** (1978) und T. Huckfeldt in unserem Institut (HUCKFELDT & SCHMIDT 2006).

Den Holzabbau durch Bakterien fotografierte erstmals 1944 J. Liese an Kiefernholztracheiden eines Berliner Rammfahles (J. LIESE 1950, siehe W. LIESE et al. 2002). Der bakterielle Holzabbau, wie das Auffinden der verschiedenen Abbaumuster in der verholzten Zellwand durch „cavity“- ,erosion“- und „tunnelling-bacteria“, wurde eingehender von Horst **Courtois** in München (COURTOIS 1966), Thomas **Nilsson** in Uppsala (NILSSON et al. 1992) und in unserem Institut untersucht und zudem die generelle Schadwirkung von Bakterien an Holz (Tüpfelabbau während der Nasslagerung von Windwurfholz, bakterieller Naßkern in Bäumen, Holzverfärbungen) bearbeitet (siehe LIESE 1992, SCHMIDT & LIESE 1994).

Für die Nutzung der Holzpilze begann J. Liese um 1930 mit dem Anbau von Speisepilzen auf Holz (*Flammulina velutipes*, *Kuehneromyces mutabilis*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*) (LIESE 1934). Wegen des Importstopps von Zedernholz aus Übersee nach Kriegsende in die damalige DDR hat er mit Walter **Luthardt** nach 1948 über Einsatzmöglichkeiten des nach dem Pilzanbau verbleibenden Restholzes für Bleistifte und andere formstabile Produkte („Myko-Holz“) gearbeitet (LUTHARDT 1962). Der Anbau von Speisepilzen auf Holz in Deutschland wird intensiv von Jahn **Leley** untersucht (LELEY 1991); in unserem Institut erfolgten Versuche mit *Lentinula edodes* (SCHMIDT 1990). Derzeit fördert vor allem China die industrielle Produktion von auf Holz kultivierten Speisepilzen (*Pleurotus*-, *Auricularia*-, *Tremella*-Arten, *L. edodes* u. a.; siehe CHANG & MILES 2004). Besonders Asiaten glauben an eine vorbeugende und heilende Wirkung der Pilze, ohne dass dies bisher bei Menschen gesichert nachgewiesen ist.

William P.K. **Findlay** (1904–1985) und John G. **Savory** (1917–2003) in England (FINDLAY & SAVORY 1954) und Walter Liese in Deutschland (LIESE 1955, 1959) erkannten die Moderfäule als eigenständigen Fäuletyp durch Ascomyceten und Deuteromyceten, die im Gegensatz zu Ba-

sidiomyceten (Braunfäule und Weißfäule) innerhalb der Zellwand mittels Kavernenbildung wachsen und Cellulose sowie Hemicellulosen abbauen (COURTOIS 1963). Über die Rotstreifigkeit des Fichtenholzes als wichtigem Schaden bei der Lagerung von Rund- und Schnittholz erfolgten grundlegende Untersuchungen durch Hubert von PECHMANN et al. (1967) zu Ursachen und Vermeidung. Der Nordamerikaner Elwyn T. REESE und Mitarbeiter (REESE et al. 1950) veröffentlichten das C₁-C_x-Modell des enzymatischen Celluloseabbaus, nach dem die innerhalb der Zellwand teilweise kristalline Cellulose für die Hydrolyse durch die C_x-Komponente durch die C₁-Komponente der Cellulase vorbereitet wird. Das Modell hat sich nicht bewährt, unterstützte jedoch die gebräuchliche Gliederung der Holzpilze in Holzerstörer (Braun-, Weiß-, Moderfäulepilze), die native Cellulose des Holzgewebes abbauen, und Holzbewohner (verfärbende Bläue- und Schimmelpilze), die im Holz lediglich einfache Verbindungen (Zucker, Aminosäuren) und in vitro modifizierte Cellulosen, wie Carboxymethylcellulose, abbauen können. In den 1960er Jahren begannen Karl-Erik L. ERIKSSON (1932–2008) und Mitarbeiter in Stockholm mit Arbeiten zum biologischen Ligninabbau bei Hackschnitzeln für die Zellstoffindustrie („biopulping“), besonders durch den Weißfäulepilz *Phanerochaete chrysosporium*. Es folgten grundlegende Untersuchungen zum enzymatischen Celluloseabbau durch die synergistische Wirkung zahlreicher Enzyme (ERIKSSON et al. 1990) sowie zum Ligninabbau durch gleichzeitigen Nachweis der Lignin-Peroxidase in zwei Arbeitsgruppen in den USA (GLENN et al. 1983, TIEN & KIRK 1983). Die Beteiligung von niedermolekularen, nicht-enzymatischen Agentien am pilzlichen Holzabbau (siehe GOODELL et al. 2003) wurde bereits von Peter J. BAILEY et al. (1968) als präcellulolytische Phase und von J.W. KOENIGS (1974) über die Fenton-Reaktion postuliert. Die ultrastrukturellen Aspekte des Zellwandabbaus durch die verschiedenen Fäuletypen wurden lichtmikroskopisch von S.E. ANAGNOST (1998) und elektronenmikroskopisch von W. LIESE (1970) und G. DANIEL (1994) aufgezeigt. Seit einigen Jahren werden Pilze und ihre Enzyme in vielfältiger Weise in der Zellstoff- und Papierindustrie (KENEALY & JEFFRIES 2003) sowie zum Abbau von Umweltgiften (BORAZJANI & DIEHL 1998) eingesetzt.

Mit klassischen Kreuzungsexperimenten (Inkompatibilität) charakterisierte der Däne Louis HARMSen in den 1950er Jahren den Echten (*Serpula lacrymans*) und den Wilden Hausschwamm (*S. himantoides*) als zwei Arten und widerlegte die Ansicht, *Merulius domesticus* sei die domestizierte Form von *Merulius silvester* (HARMSen et al. 1958); Kreuzungen innerhalb *S. lacrymans* folgten später (SCHMIDT & MORETH-KEBERNIK 1991).

Anfang der 1970er Jahre erwog der Norweger Kjell KLEPPE im Labor von Nobelpreisträger Har Gobind Khorana, DNS mit zwei flankierenden Primern zu vervielfältigen, doch geriet die Idee in Vergessenheit, bis sie 1983 von Kary MULLIS (1993 Nobelpreis für Chemie) durch Erarbeitung der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) zu einer Standardmethode der Molekularbiologie wurde (MULLIS 1990). Die molekulare Identifizierung und Charakterisierung von holzerstörenden Gebädepilzen wurden seit den 1990er Jahren in unserem Institut erarbeitet, wie Restriktionsfragmentlängenpolymorphismen (RFLP's, SCHMIDT & MORETH 1999), artspezifische PCR (MORETH & SCHMIDT 2000) und Sequenzierung des ribosomalen ITS-Bereiches (SCHMIDT & MORETH 2002/2003). Die phylogenetische Nutzung von DNS-Daten bei Holzpilzen durch Håvard KAUSERUD in Oslo hat beispielsweise das asiatische Festland als Herkunft des Echten Hausschwammes aufgezeigt und das Vorkommen des Pilzes im Freiland bewiesen (KAUSERUD et al. 2007).

In der jüngeren Zeit haben die „Schimmelpilze“ (Deuteromyceten u. a.; WOLF & LIESE 1977) besondere Bedeutung in Gebäuden durch Gesundheitsschäden (Allergosen, Mykosen, Toxikosen)

erlangt, wie durch *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. versicolor*, *Chaetomium globosum*, *Emericella nidulans*, *Memnoniella echinata* und *Stachybotrys chartarum*; letzter gilt wegen seines cytotoxischen Satratoxins als giftigster Pilz in Gebäuden (SAMSON & HOEKSTRA 2004). Das Vorkommen von Schimmelpilzen wird u. a. über die MVOC's erfasst (KELLER 2002).

In vielen tropischen und subtropischen Ländern wird Bambus als Holzersatz für Häuser und vielfache Verwendungen eingesetzt (LIESE 1987). Da der Bambushalm reichlich Kohlenhydrate aber keine natürlichen Resistenzstoffe enthält, wird er leicht von Bläue-, Braunfäule- und Weißfäulepilzen (u. a. *Schizophyllum commune*) befallen. Seine Verwendung erfordert an die örtlichen Gegebenheiten angepasste Maßnahmen (LIESE & KUMAR 2003).

Holzpathologischer Ausblick

Da nur 5 bis 10% der vermuteten 3 Millionen Pilzarten (ROBSON et al. 1999) beschrieben sind, haben Identifizierung, morphologisch-physiologische Charakterisierung und systematische Zuordnung große Bedeutung. Mittels klassischer und molekularer Methoden werden phylogenetische Beziehungen erkannt.

Hinsichtlich der Holzpilze zeigten Bestandsaufnahmen in verschiedenen Biotopen beispielsweise über 65 verschiedene Basidiomyceten in Gebäuden (HUCKFELDT & SCHMIDT 2006), die biologisch und physiologisch charakterisiert werden sollten. Für die sichere Identifizierung speziell von schwierigen Befallsproben aus Gebäuden werden in verschiedenen Labors DNS-Methoden erprobt: RFLP-Muster des rDNS-ITS-Bereiches sollen als Vergleichsbasis für unbekannte Pilze dienen (ZAREMSKI et al. 1999, ADAIR et al. 2002, DIEHL et al. 2004, HORISOWA et al. 2004, RÄBERG et al. 2004). Die artspezifische PCR und die ITS-Sequenzierung als sicherste Methode zur Diagnostik von Hausfäulepilzen sind in Deutschland kommerziell verfügbar. Zunehmend werden rDNS-Sequenzen in den internationalen Datenbanken von verschiedenen Arbeitsgruppen deponiert und verbessern die Möglichkeit zur Identifizierung durch Sequenzvergleich. Im USA Department of Energy Joint Genome Institute wird das Gesamtgenom von holzerstörenden Pilzen sequenziert (whole genome shot gun sequencing), wie bereits von *Phanerochaete chrysosporium*. Zur Zeit wird der Pilz des Jahres 2004 der DGfM, *Serpula lacrymans*, sequenziert (Stamm S7, Schmidt). Über die molekularen Grundlagen (Gensequenz, Expression) der für den Holzabbau wichtigen Enzyme liegen einige Kenntnisse vor, doch nicht für Cellulose-abbauenden Enzyme der holzwirtschaftlich wichtigen Gruppe der Braunfäulepilze in Gebäuden; eine erste Teilsequenz der für den Abbau nativer Cellulose wesentlichen Endo-1,4- β -glucanase (EC 3.2.1.4) ist von *S. lacrymans* bekannt (PETERS 2007).

Literatur

- ADAIR, S., KIM, S.H. & C. BREUIL (2002): A molecular approach for early monitoring of decay basidiomycetes in wood chips. – FEMS Microbiol. Lett. **211**: 117-122.
- ANAGNOST, S.E. (1998): Light microscopic diagnosis of wood decay. – IAWA J. **19**: 141-167.
- ANANTHAPADMANABHA, H.S., NAGAVENI, H.C. & V.V. SRINIVASAN (1992): Control of wood biodegradation by fungal metabolites. – Intern. Res. Group Wood Preserv. **1527**.
- BAILEY, P.J., LIESE, W. & R. RÖSCH (1968): Some aspects of cellulose degradation in lignified cell walls. Biodeterioration Materials. – 1. Int. Biodetn. Symp. Southampton. Elsevier, Essex, 564-557.
- BAVENDAMM, W. (1928): Über das Vorkommen und den Nachweis von Oxydasen bei holzerstörenden Pilzen. – Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch. **38**: 257-276.

- BAVENDAMM, W. (1936): Erkennen, Nachweis und Kultur der Holzverfärbenden und Holzzerstörenden Pilze. In: ABDERHALBEN, E. (Hrsg.) Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. XII Methoden zur Erforschung der Leistungen von einzelligen Lebewesen. Teil 2, Heft 7, Urban & Schwarzenberg, Berlin.
- BAVENDAMM, W. (1955): Der Einfluß der deutschen botanischen Forschung auf die Entwicklung des Holzschutzes. – Ztschr. Weltforstwirtschaft. **18**: 214-221.
- BAVENDAMM, W. (1963): Gibt es Holzkrankheiten? – Zolz-Zbl. **89**: 2235-2236.
- BAVENDAMM, W. (1974): Die Holzschäden und ihre Verhütung. – Wissenschaftl. Verlagsanst. Stuttgart.
- BLANCHETTE, R.A., BEHRENDT, C.J. & R.A. FARRELL (1994): Biological protection of sapstain for the forest products industry. – Tappi Proc. 77-80.
- BORAZJANI, A. & S.V. DIEHL (1998): Bioremediation of soils contaminated with organic wood preservatives. In: BRUCE, A. & J.W. PALFREYMAN (Hrsg.): Forest products biotechnology. – Taylor & Francis, London, 117-127.
- CHANG, S.-T. & H. HAYES (1978): The biology and cultivation of edible mushrooms. – Academic Press, New York.
- CHANG, S.-T. & P.G. MILES (2004): Mushrooms. Cultivation, nutritional value, medicinal effects, and environmental impact. – 2. Aufl. CRC Press, Boca Raton, FL.
- COURTOIS, H. (1963): Mikromorphologische Befallsymptome beim Holzabbau durch Modelfäulepilze. – Holzforsch. Holzverw. **15**: 88-101.
- COURTOIS, H. (1966): Über den Zellwandabbau durch Bakterien in Nadelholz. – Holzforsch. **20**: 148-154.
- DANIEL, G. (1994): Use of electron microscopy for aiding our understanding of wood biodeterioration. – FEMS Microbiol. Rev. **13**: 199-233.
- DAVIDSON, R.W., CAMPBELL, W.A. & BLAISDELL VAUGHN, D. (1942): Fungi causing decay of living oaks in the eastern United States and their cultural identification. – Tech. Bull. US Dept. Agric. Washington, DC.
- DIEHL, S.V., McELROY, T.C. & M.L. PREWITT (2004): Development and implementation of a DNA-RFLP database for wood decay and associated fungi. – Intern. Res. Group Wood Preserv. **10527**: 1-8.
- DÖRFELT, H. & H. HEKLAU (1998): Die Geschichte der Mykologie. – Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd.
- DOI, S. (1991): *Serpula lacrymans* in Japan. In: JENNINGS, D.H. & A.F. BRAVERY (Hrsg.): *Serpula lacrymans*. Wiley, Chichester, 173-187.
- ERIKSSON, K-E.L., BLANCHETTE, R.A. & P. ANDER (1990): Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. – Springer, Berlin.
- FALCK, R. (1907): Wachstumsgesetze, Wachstumsfaktoren und Temperaturwerte holzzerstörender Mycelien. – Hausschwammforsch. **1**: 53-159.
- FALCK, R. (1912): Die Meruliusfäule des Bauholzes. – Hausschwammforsch. **6**: 405 S.
- FALCK, R. (1927): Der Lignin- und der Zellulose-Abbau des Holzes. Zwei verschiedene Zersetzungsprozesse durch holzbewohnende Fadenpilze. – Ber. Dt. Chem. Ges. **60**: 225-332.
- FINDLAY, W.P.K. & J.G. SAVORY (1954): Moderfäule. Die Zersetzung von Holz durch niedere Pilze. – Holz Roh- Werkstoff **12**: 293-296.
- GERSONDE, M. (1958): Untersuchungen über die Giftempfindlichkeit verschiedener Stämme von Pilzarten der Gattungen *Coniophora*, *Poria*, *Merulius* und *Lentinus*. I. *Coniophora cerebella* (Pers.) Duby. – Holzforsch. **12**: 73-83.
- GLAUBRECHT, M. (2008): Alfred Russel Wallace und der Wettlauf um die Evolutionstheorie. Teil 1. – Naturwiss. Rundschau **61**: 346-353.
- GLENN, J.K., MORGAN, M.A., MAYFIELD, M.B., KUWAHARA, M. & M.H. GOLD (1983): An extracellular H₂O₂-requiring enzyme preparation involved in lignin biodegradation by the white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. – Biochem. Biophys. Res. Commun. **114**: 1077-1083.
- GOODELL, B., NICHOLAS, D.B. & T.P. SCHULTZ (Hrsg.) (2003): Wood deterioration and preservation. – ACS Symp. Series **845**, Amer. Chem. Soc. Washington, DC.

- GÖTZE, H., SCHULTZE-DEWITZ, G. & W. LIESE (1989): Zum 150. Geburtstag von Robert Hartig. – Beiträge Forstwirtsch. **23**: 92-97.
- HARMSSEN, L., BAKSHI, B.K. & T.G. CHOUDHURY (1958): Relationship between *Merulius lacrymans* und *Merulius himantioides*. – Nature **4614**: 1011.
- HARTIG, R. (1874): Wichtige Krankheiten der Waldbäume. – Springer, Berlin.
- HARTIG, R. (1878): Die Zersetzungserscheinungen des Holzes der Nadelholzbäume und der Eiche in forstlicher, botanischer und chemischer Richtung. – Springer, Berlin.
- HESSE, W. (1884): Über die quantitative Bestimmung der in der Luft enthaltenen Mikroorganismen. – Mittlg. Kaiserl. Gesundheitsamt **2**: 182-207.
- HIGHLEY, T.L. & J. RICARD (1988): Antagonism of *Trichoderma* spp. and *Gliocladium virens* against wood decay fungi. – Material Organismen **23**: 157-169.
- HOLDENRIEDER, O. (1988): Biological methods of control. In: WOODWARD, S., STENLID, S., KARJALAINEN, J. & R. HÜTTERMANN (Hrsg.): *Heterobasidion annosum*. CAB International, Wallingford, 235-258.
- HORISOWA, S., SAKUMA, Y., TAKATA, K. & S. DOI (2004): Detection of intra- and interspecific variation of the dry rot fungus *Serpula lacrymans* by PCR-RFLP and RAPD analysis. – J. Wood Sci. **50**: 427-432.
- HUBERT, E.E. (1931): An outline of forest pathology. – J. Wiley & Sons, New York.
- HUCKFELDT, T & O. SCHMIDT (2004): Schlüssel für Strang bildende Hausfäulepilze. – Z. Mykol. **70**: 85-96
- HUCKFELDT, T & O. SCHMIDT (2006): Hausfäule- und Bauholzpilz. Diagnose und Sanierung. – R. Müller, Köln.
- HUMPHREY, C.J. (1915): Tests on the durability of greenheart (*Nectandra rodiaei* Schomb.). – Mycologia **7**: 204-209.
- HÜTTERMANN, A. (1991): Richard Falck, his life and work. In: JENNINGS, D.H. & A.F. BRAVERY (Hrsg.): *Serpula lacrymans*. Wiley, Chichester, 193-206.
- KAUSERUD, H., SWEGARDEN, I.B. SAETRE, G.-P., KNUDSEN, H., STENSRUD, O., SCHMIDT, O., DOI, H., SUGIYAMA, T. & N. HÖGBERG (2007): Asian origin and rapid global spread of the destructive dry rot fungus *Serpula lacrymans*. – Molec. Ecol. **16**: 3350-3360.
- KELLER, R. (2002): Mikrobielle Sekundärmetabolite aus Schimmelpilzen. In: KELLER, R., SENKPIEL, K., SAMSON, R.A. & E.S. HOEKSTRA (Hrsg.): Umgebungsanalyse bei gesundheitlichen Beschwerden durch mikrobielle Belastungen in Innenräumen. – Schriftenr. Inst. Medizin. Mikrobiol. Hygiene Univ. Lübeck **6**: 193-240.
- KENEALY, W.R. & T.W. JEFFRIES (2003): Enzyme processes for pulp and paper. In: GOODELL, B., NICHOLAS, D.B. & T.P. SCHULTZ (Hrsg.): Wood deterioration and preservation. – ACS Symp. Series **845**, Amer. Chem. Soc. Washington, DC, 210-239.
- KOENIGS, J.W. (1974): Hydrogen peroxide and iron, a proposed system for decomposition of wood by brown-rot basidiomycetes. – Wood Fiber **6**: 66-80.
- KORHONEN, K. (1978a): Interfertility and clonal size in the *Armillariella mellea* complex. – Karstenia **18**: 31-42.
- KORHONEN, K. (1978ba): Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae **94.6**: 22 S.
- LELLEY, J. (1991): Pilzanbau. Biotechnologie der Kulturspeisepilze. – Ulmer, Stuttgart
- LIESE, J. (1934): Über die Möglichkeit einer Pilzzucht im Walde. – Dtsch. Forstbeamte **25**: 1-3
- LIESE, J. (1950): Zerstörung des Holzes durch Pilze und Bakterien. In: MAHLKE, F., TROSCHER, R. & J. LIESE (Hrsg.): Handbuch der Holzkonservierung. – 3. Aufl. Springer, Berlin, 44-111.
- LIESE, W. (1955): On the decomposition of the cell wall by micro-organisms. – Rec. Br. Wood Preserv. Assoc. **159**-160.
- LIESE, W. (1959): Die Moderfäule, eine neue Krankheit des Holzes. – Naturwiss. Rundschau **11**: 419-525.
- LIESE, W. (1967): History of wood pathology. – Wood Sci. Technol. **1**: 169-173.
- LIESE, W. (1968): Werner Bavendamm 70 Jahre. – Forstarchiv **39**: 260-263.
- LIESE, W. (1970): Ultrastructural aspects of woody tissue disintegration. – Ann. Rev. Phytopath. **8**: 231-258.

- LIESE, W. (1987): Research on bamboo. – Wood Sci. Technol. **21**: 189-209.
- LIESE, W. (1988): Prof. Dr. Oskar Wälchli 70 Jahre. – Material Organismen **23**: 1-9.
- LIESE, W. (1992): Holzbakterien und Holzschutz. – Material Organismen **27**: 191-202.
- LIESE, W. & S. KUMAR (2003): Bamboo preservation compendium. – INBAR Techn. Rep. **22**, Beijing, China.
- LIESE, W., LYR, H., RUDOLPH, D., SCHULTZE-DEWITZ, G. & P. SCHUMACHER (2002): Professor Dr. Johannes Liese. Gedenkveranstaltung zum 50. Todestag. – Eberswalder forsthist. Schriften **10**.
- LUTHARDT, W. (1962): Myko-Holz-Herstellung, Eigenschaften und Verwendung. In: LYR, H. & W. GILLWALD (Hrsg.): Holzzerstörung durch Pilze, Akademie-Verlag, Berlin, 83-88.
- MERRILL, W., LAMBERT, D. & W. LIESE (1975): Important diseases of forest trees. By Dr. Robert Hartig. Translation and bibliography. – Phytopathol. Classics **12**. Amer. Pythopath. Soc., St. Paul.
- MOLITORIS, H. P. (2005): Pilze – Weggefährten des Menschen. – Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges. **66**: 579-598.
- MORETH, U. & O. SCHMIDT (2000): Identification of indoor rot fungi by taxon-specific polymerase chain reaction. – Holzforsch. **54**: 1-8.
- MÜLLER, E. & W. LOEFFLER (1992): Mykologie. 5. Aufl. Thieme, Stuttgart.
- MULLIS, K.B. (1990): Eine Nachfahrt und die Polymerase-Kettenreaktion. – Spektrum Wissensch.: 60-67.
- MÜNCH, E. (1907): Die Blaufäule des Nadelholzes. – Naturwiss. Ztschr. Forst-Landwirtsch. **5**: 531-573.
- NILSSON, T., SINGH, A. & G. DANIEL (1992): Ultrastructure of the attack of *Eusideroxylon zwageri* wood by tunnelling bacteria. – Holzforsch. **46**: 361-367.
- NOBLES, M.K. (1948): Studies in forest pathology. VI. Identification of cultures of wood-rotting fungi. – Can. J. Res. C. **26**: 281-431.
- NOBLES, M.K. (1965): Identification of cultures of wood-inhabiting hymenomycetes. – Can. J. Bot. **43**: 1097-1139.
- PALFREYMAN, J.W. & G. LOW (2002): Studies of the domestic dry rot fungus *Serpula lacrymans* with relevance to the management of decay in buildings. – Res. Rep. Historical Scotland, Edinburgh.
- V. PECHMANN, H., v. AUFSEB, H., LIESE, W. & U. AMMER (1967): Untersuchungen über die Rotstreifigkeit des Fichtenholzes. – Forstwiss. Centralbl. Beiheft 27.
- PETERS, S. (2007): Vorkommen und Aktivität von Cellulasen bei *Serpula lacrymans*. – Diplomarb. Fachber. Biol. Univ. Hamburg.
- RÄBERG, U., HÖGBERG, N. & C.J. LAND (2004): Identification of brown-rot fungi on wood in above ground conditions by PCR, T-RFLP and sequencing. – Intern. Res. Group Wood Preserv. **10512**: 1-6.
- REESE, E.T., SIU, R.G.H. & H.S. LEVINSON (1950): The biological degradation of soluble cellulose derivatives and its relationship to the mechanism of cellulose hydrolysis. – J. Bact. **59**: 485-497.
- REIB, J. (1986): Schimmelpilze. – Springer, Berlin.
- RISHBETH, J. (1963): Stump protection against *Fomes annosus*. III. Inoculation with *Peniophora gigantea*. – Ann. Appl. Biol. **52**: 63-77bb.
- ROBSON, G. (1999): Hyphal cell biology. In: OLIVIER, R.P. & M. SCHWEIZER (Hrsg.): Molecular fungal biology. – Cambridge University Press, Cambridge, 164-184.
- RYPÁČEK, V. (1966): Biologie holzerstörender Pilze. – VEB G. Fischer, Jena.
- SAMSON, R.A. & E.S. HOEKSTRA (2004): Toxic moulds in indoor environments. In: KELLER, R., SENKPIEL, K., SAMSON, R.A. & E.S. HOEKSTRA (Hrsg.): Erfassung biogener und chemischer Schadstoffe des Innenraumes und die Bewertung umweltbezogener Gesundheitsrisiken. – Schriftenr. Inst. Medizin. Mikrobiol. Hygiene Univ. Lübeck **8**: 409-435
- SCHACHT, H. (1863): Über die Veränderungen durch Pilze in abgestorbenen Pflanzenzellen. – Jahrbücher wiss. Bot. **3**: 442-483
- SCHMIDT, O. (1990): Biologie und Anbau des Shii-take. – Champignon **350**: 11-32

- SCHMIDT, O. (1994): Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. – Springer, Berlin.
- SCHMIDT, O. (2003): Molekulare und physiologische Charakterisierung von Hausschwamm-Arten. – Z. Mykol. **69**: 287-298.
- SCHMIDT, O. (2006): Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. – Springer, Berlin.
- SCHMIDT, O. & W. LIESE (1994): Occurrence and significance of bacteria in wood. – Holzforsch. **48**: 271-277
- SCHMIDT, O. & U. MORETH (1999): Identification of the dry rot fungus, *Serpula lacrymans*, and the wild merulius, *S. himantioides*, by amplified ribosomal DNA restriction analysis (ARDRA). – Holzforsch. **53**: 123-128.
- SCHMIDT, O. & U. MORETH (2002/2003): Data bank of rDNA-ITS sequences from building-rot fungi for their identification. – Wood Sci. Technol. **36**: 429-433 und Revision in Wood Sci. Technol. **37**: 161-163.
- SCHMIDT, O. & U. MORETH (2006): Molekulare Untersuchungen an Hausfäulepilzen. – Z. Mykol. **72**: 137-152.
- SCHMIDT, O. & U. MORETH-KEBERNIK (1991): Monokaryon pairings of the dry rot fungus *Serpula lacrymans*. – Mycol. Res. **95**: 1382-1386.
- SCHMIDT, O. & J. MÜLLER (1996): Praxisversuche zum biologischen Schutz von Kiefernholz vor Schimmel und Schnittholzbläue. – Holzforsch. Holzverwert. **48**: 81-84.
- SCHULTZE-DEWITZ, G. (1969): Geschichte der Holzpathologie und des Holzschutzes. – Holzindustrie **22**: 257-261.
- SCHWANTES, H.O. (1996): Biologie der Pilze. E. Ulmer, Stuttgart.
- STALPERS, J.A. (1978): Identification of wood-inhabiting Aphyllophorales in pure culture. – Stud. Mycology **16**, CBS, Baarn.
- THEDEN, G. (1972): Das Absterben holzerstörender Pilze in trockenem Holz. – Material Organismen **7**: 1-10.
- TIEN, M. & T.K. KIRK (1983): Lignin-degrading enzyme from the hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium* Burds. – Science **221**: 661-663.
- V. TUBEUF, C. (1902): Beitrag zur Kenntnis des Hausschwammes, *Merulius domesticus*. – Zentralbl. Bakt. II **9**: 127-135.
- WÄLCHLI, O. (1991): Occurrence and control of *Serpula lacrymans* in Switzerland. In: JENNINGS D.H. & A.F. BRAVERY (Hrsg.): *Serpula lacrymans*. Wiley, Chichester, 131-145.
- WAŻNY, J. (1961): Vergleichende Untersuchungen an polnischen, sowjetischen und Normstämmen der bei der Prüfung von Holzschutzmitteln verwendeten Testpilze. – Holztechnologie **2**, 69-72.
- WAŻNY, J. & J.D. THORNTON (1989): Comparative laboratory testing of strains of the dry rot fungus *Serpula lacrymans* (Schum. Ex Fries) S.F. Gray. – Holzforsch. **43**: 231-233.
- WEHMER, C. (1915): Experimentelle Hausschwammstudien. Beiträge zur Kenntnis einheimischer Pilze. G. Fischer, Jena.
- WOLF, F. & W. LIESE (1977): Zur Bedeutung von Schimmelpilzen für die Holzqualität. – Holz Roh-Werkstoff **35**: 53-57.
- ZABEL, R.A. & J.J. MORRELL (1992): Wood microbiology. Academic Press, San Diego.
- ZAREMSKI, A., DUCOUSSO, M., PRIN, Y. & D. FOUQUET (1999): Molecular characterization of wood-decaying fungi. – Bois For. Trop., Special Issue: 76-81.

Abbildungsnachweise:

Abb. 1: http://www.zauberpilz.com/gallery/mushstone_big_th.jpg

Abb. 2: <http://www.lebertransplantation.de/bilder/hepenz/hippokrates.jpg>

Abb. 3: <http://www.gabrieleweis.de/2-bldungsbits/literaturgeschichtsbits/werk-matrialien/schiller-kabale-und-liebe/bilder/aristoteles.jpg>

Abb. 4: <http://imagecache2.allposters.com/images/pic/MEPOD/10010925~Gaius-Plinius-Secundus-Roman-Scientist-and-Scholar-Posters.jpg>

- Abb. 5:** http://www.notablebiographies.com/images/uewb_04_img0284.jpg
- Abb. 6:** <http://www.iaphomepage.org/arab/arab202/ibn.jpg>
- Abb. 7:** http://papilias.files.wordpress.com/2008/01/493px-mathis_gothart_grunewald_018.jpg
- Abb. 8:** <http://www.ilmyco.gen.chicago.il.us/Authors/Images/Tulasne281.jpg>
- Abb. 9:** <http://portraits.klassik.com/people/bingen/Bingen05.jpg>
- Abb. 10:** <http://www.wyldwytych.com/weavings/candb/images/magnus.gif>
- Abb. 11:** http://farm1.static.flickr.com/191/484488781_5512662197.jpg?v=0
- Abb. 12:** <http://www.fisicamente.net/dellaporta.bmp>
- Abb. 13:** http://content.answers.com/main/content/wp/en-commons/thumb/0/0f/280px-Bauin_Gaspard_1550-1624.jpg
- Abb. 14:** <http://www.natuurinformatie.nl/sites/nnm.dossiers/contents/i004208/leeuwenhoek.jpg>
- Abb. 15:** http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph07_g8/geschichte/11hooke/hooke.jpg
- Abb. 16:** <http://www.huh.harvard.edu/libraries/mycology/micheli.jpg>
- Abb. 17:** http://vitruvio.imss.fi.it/foto/sim/simbio/simbio-300552_300.jpg
- Abb. 18:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Jacob_Christian_Schaeffer_1718-1790.jpg
- Abb. 19:** <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/Bulliard00.jpg/180px-Bulliard00.jpg>
- Abb. 20:** http://www.vauxhallsociety.org.uk/sowerby_by_Heaphy%20small.jpg
- Abb. 21:** <http://www.corpusetampoio.com/cse-18-guettard1.jpg>
- Abb. 22:** <http://huntbot.andrew.cmu.edu/HIBD/Departments/Archives/Archives-HR/Persoon001.jpg>
- Abb. 23:** <http://www.ilmyco.gen.chicago.il.us/Authors/Images/Friesyoung577.jpg>
- Abb. 24:** <http://www.ilmyco.gen.chicago.il.us/Authors/Images/Schweinitz274.jpg>
- Abb. 25:** <http://www.rotwang.co.uk/images/mjb.jpg>
- Abb. 26:** <http://botanique.univ-lile2.fr/typo3temp/pics/04fb4224c2.jpg>
- Abb. 27:** <http://www.minter.demon.co.uk/pics/0000780b.jpg>
- Abb. 28:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5e/Theodor_Hartig.jpg/450px-Theodor_Hartig.jpg
- Abb. 29:** <http://www.physics.hu/historia/dutrochet/dutrochet.jpg>
- Abb. 30:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/Justus_von_Liebig.jpg/140px-Justus_von_Liebig.jpg
- Abb. 31:** http://darwin-online.org.uk/converted/published/1967_DarwinHenslow_F1598/1967_Darwin_Henslow_F1598_fig014.jpg
- Abb. 32:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Edmond_Tulasne.jpg
- Abb. 33:** <http://www.nndb.com/people/142/000096851/de-bary-1-sized.jpg>
- Abb. 34:** http://www.biocrawler.com/encyclopedia/Louis_Pasteur_oder
http://content.answers.com/main/content/wp/en-commons/thumb/2/27/300px-Tableau_Louis_Pasteur.jpg
- Abb. 35:** <http://www.china1900.info/menschen/imagesmenschen/molisch.jpg>
- Abb. 36:** <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Theophrastus.jpg>
- Abb. 37:** <http://www.ilmyco.gen.chicago.il.us/Authors/Images/Boudiyoung237.jpg>
- Abb. 38:** <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/fo33/frank/frank.jpg>
- Abb. 39:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Georg_Albrecht_Klebs.jpg
- Abb. 40:** <http://www.iped.com.br/sie/uploads/9922.jpg>
- Abb. 41:** <http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/pages/history/Claussen-P.html>
- Abb. 42:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/ce/Robert_Hartig.jpg/97px-Robert_Hartig.jpg