

Bakterien und Pilze an Wasserbau-Holz

angelehnt an ein Teil-Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

T. Huckfeldt und M. Rehbein

Thema: „Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser“

(Aktenzeichen: 32571/01-32)

Teil: Bakterien- und Pilzschäden an Dalben und Hafenkonstruktionen (Wasserbauhölzer);

ergänzt durch Informationen zu holzerstörenden Bakterien und Pilzen.



Abb. 1: Typische Dalben einer Hafenanlage mit sichtbaren Fäuleschäden (Nordsee, Niedersachsen, Nessmer-Siel, 22.01.2016); Eckbild: Braunfäule-Schaden nach Prüfung; das Holz war mit dem Daumen eindrückbar.

Vorwort

Die in diesem Frühjahrgruß vom IF-Holz vorgestellten Ergebnisse sind z. T. Bestandteil eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes (Aktenzeichen: 32571/01-32), an welchem Dr. Johann Müller (Koordinator, freier Autor und Sachverständiger) sowie Dr. Eckhard Melcher und Dr. Johannes Welling vom Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg beteiligt waren.

Weitere wesentliche Aspekte des 190-seitigen Abschlussberichtes „Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser“ sind u. a.:

- Untersuchungen zum Vorkommen der Schiffsbohrmuschel (*Teredo navalis*),
- Untersuchungen zum Holzschutz mit Geotextilien gegenüber der Schiffsbohrmuschel,
- Untersuchungen zur Wirksamkeit von Meersalz gegenüber Basidiomyceten und
- Quantitative Analysen zum Glühverlust und zur Metallverteilung in Hölzern nach Meerwasserexposition.

Weitere Details zum Projekt-Hintergrund s. S. 23.

Impressum/Anschrift/Kontakt/Probeneinsendungen:

Institut für Holzqualität und Holzschäden IF-Holz – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Essener Straße 4, D2; 22419 Hamburg

Dr. Tobias Huckfeldt, Dr. Mathias Rehbein

Tel: 040 / 49200989 // Fax: 040 / 49200992

E-Mail: info@ifholz.de, huckfeldt@ifholz.de, rehbein@ifholz.de; Netz: www.ifholz.de // www.hausschwamminfo.de

Probeneinsendungen

Für die Einsendung von Proben beachten Sie bitte unser Merkblatt zur Probennahme (Download unter www.ifholz.de, klicken Sie auf Downloadcenter).

Einleitung

Wir haben in den vergangenen Jahren Dalben untersucht (Abb. 1) und waren an einem DBU-Projekt beteiligt, bei dem Möglichkeiten erprobt wurden, die Dauerhaftigkeit von Nadelholz-Dalben zu erhöhen. Denn anders als Kunststoff ist Holz ein nachwachsender Rohstoff, der die Meere oder Seen beim und nach dem Gebrauch nicht nachteilig verschmutzt (Abb. 2 - Abb. 4). In dem DBU-Projekt ist es gelungen, einen Weg aufzuzeigen, wie holzerstörende Muscheln und Krebse vom Holz ferngehalten werden können. Das IF-Holz hat sich in diesem Zusammenhang mit der Bestimmung von holzerstörenden Pilzen und der Schadbild-Erfassung von Bakterienfäulen beschäftigt. Der Hintergrund unseres Projektbeitrages ist es, dass ein baulicher Holzschutz gegen holzerstörende Pilze an Nadelholz-Dalben bisher kaum nötig war, da die holzerstörenden Muscheln und Krebse das Holz schneller zerstörten als die Pilze. Erhöht sich nun aber die Langlebigkeit der Nadelholz-Dalben, ergibt sich auch die Notwendigkeit, gegen pilzliche Schäden Maßnahmen zu ergreifen. Die Schäden, die durch Pilze und Bakterien entstehen, werden hier vorgestellt.



Abb. 2: Alte Dalben: Die freiliegenden Metall-Verbindungen zeigen im oberen Teil den Verlust der Holzsubstanz an.

Der Artikel gliedert sich in drei Abschnitte: 1. Einführung mit einer kurzen Darstellung der grundlegenden Abbaumuster durch Weiß-, Moder- und Braunfäulepilze. 2. Abbaumechanismen und Schäden durch Bakterien; diesen Teil haben wir ausgedehnt: Da an Wasserbauhölzern, Pfahlgründungen und archäologischen Holzfinden Bakterienschäden eine wichtige Rolle spielen und weil diese in der Sachverständigen-Literatur kaum vorkommen, beschreiben wir die Bakterienschäden ausführlicher. 3. Dalben-Schäden durch holzerstörende Bakterien und Pilze; hier geht es um die unterschiedlichen Lebensräume, die eine Dalbe Holzzerstörern bieten kann. Die Dalbe besitzt ein breites Spektrum an ökologischen Nischen, z. B. vom Aeroben zum Anaeroben, vom Salzreichen zum Salzarmen und vom Sattnassen zum Wechselfeuchten. Hinzukommen noch unterschiedliche Standorte wie Meer-, Brack- oder Süßwasser. Um die Auswirkungen dieser Einflussfaktoren besser erfassen zu können, haben wir Dalben-Zonen mit speziellen Lebensräumen definiert (Abb. 38).

Vorbemerkung

Bei einigen der untersuchten Dalben fiel auf, dass elementare Grundlagen des baulichen Holzschutzes kaum beachtet wurden; dies vermindert die Gebrauchsdauer (Abb. 60). Natürlich gab es auch viele schöne Beispiele für einen gelungenen baulichen Holzschutz (Abb. 5).

Die vorgefundenen Schäden waren unterschiedlich, von marginal – auch nach Jahren im Hafenbecken (Abb. 6) – bis massiv nach wenigen Jahren. Es scheint – wie bei vielen anderen von uns untersuchten Bauteilgruppen, ob Fenster, Fachwerk oder Spielplatzgeräte –, dass die Auswahl und der richtige Zuschnitt des Holzes zusammen mit der Beachtung des baulichen Holzschutzes viel zur Dauerhaftigkeit von Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind, beitragen können.



Abb. 3: z. T. zerstörte Kunststoff-Abstandhalter, die Kunststoff-Reste gelangen ins Wasser und schwimmen ins Meer.



Abb. 4: Abstandhalter aus Holz als gute Alternative zum Plastik.



Abb. 5: Die Abdeckung schützt das Hirnholz und Risse der Dalbe vor Niederschlägen, auch der Nährstoffeintrag wird vermindert; nur ist sie aufgrund der Abschrägung etwas klein (Ostsee).

Abb. 6: Typische Dalbe in der Ostsee: der Tidenhub vgl. klein und die Zonen dicht gedrängt; unter Wasser mit tierischem Besatz.

Allgemeiner Teil

Dalben-Zonen

Fäuletypen

Je nachdem, wie und welche Bestandteile aus dem Holz gelöst werden bzw. wie dieses nach der Besiedlung und Nährstoff-Entnahme aussieht, werden verschiedene Fäuletypen unterschieden: Braun-, Weiß- und Moderfäule. Daneben gibt es noch die Bakterienfäulen, denen hier ein besonderes Augenmerk geschenkt werden soll.

Braunfäule

Braunfäulepilze bauen Cellulose, Hemicellulosen und Pektine ab. Mit deren Abbau verliert Holz schnell seine mechanischen Eigenschaften, noch bevor ein intensiverer Masseverlust eingesetzt hat (BARISKA et al., 1983). Braunfaules Holz schrumpft beim Trocknen meist in axialer Richtung, was zu dem typischen Würfelbruch mit Rissen quer und längs zur Holzfaser führt (Abb. 13). Oder es kommt zu ringförmigem Zerfall (muschelähnlicher Bruch) des Holzes, wenn der Abbau im Frühholz schneller als im Spätholz voranschreitet. An Dalben treten Braunfäulepilze im Süß- und Meerwasser im oberen Teil auf, der nicht ständig wassergesättigt oder zu salzbelastet ist (Abb. 7 und Abb. 9).

Die Hyphen der Braunfäulepilze wachsen meistens im Lumen des Holzes – nur selten direkt in den Zellwänden – und zersetzen das Holz durch die Abgabe von Enzymen und reaktiven Stoffen (Abb. 8). Der Abbau beginnt dabei oft in der Sekundärwand I. Kavernen werden kaum gebildet, jedoch vermindert der starke Cellulose-Abbau die Polarisation des Holzes; dies ist ein Nachweis für einen Braunfäule-Befall (ANAGNOST, 1998; KREMER, 2002; LOHWAG, 1937; SCHNEIDER, 1922; Abb. 10 und Abb. 11). Zudem ergeben sich im stark abgebauten braunfaulen Holz oft Tüpfelschäden und z. T. feine Mikrorisse (Abb. 12).



Abb. 7: Ostsee: Typischer Braunfäuleschaden an einer Dalbe; die Abdeckung ist zu knapp bemessen.

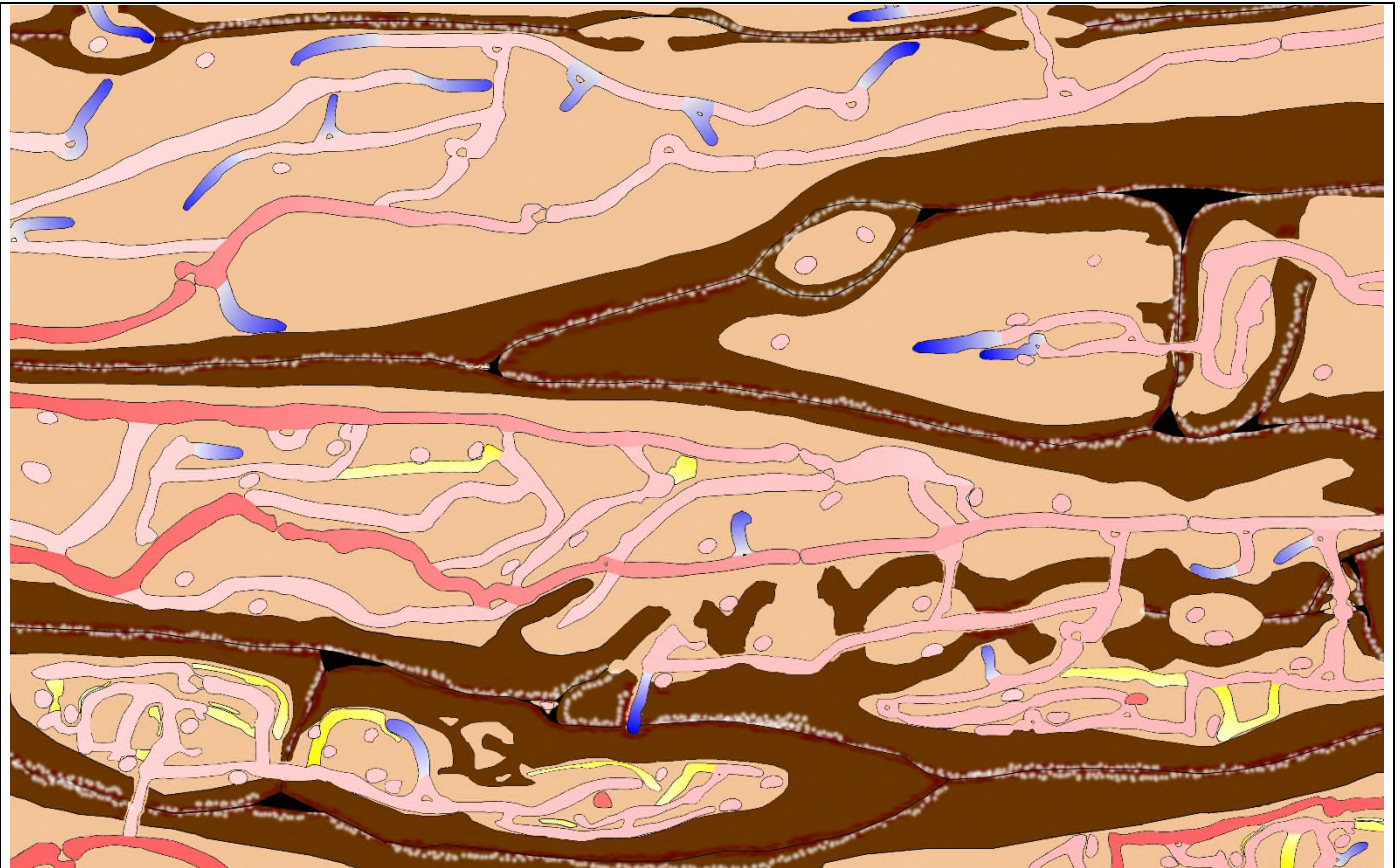


Abb. 8: Typischer Angriff eines Braunfäulepilzes im Holz (schematische Darstellung am Beispiel eines Weißen Porenschwammes – *Antrodia/Oligoporus*); Hyphen wachsen im Lumen des Holzes (hellbraun = röhrenförmige Hohlräume) und greifen die Holzsubstanz (dunkelbraun) vom Lumen herkommend an; blau: Zuwachszonen der Hyphen, gelb: abgestorbene Hyphen, rot: Hyphen des Ferntransportes; rosa: substrataufnehmende Hyphen; der Holzabbau ist hier rötlich-weiß-fleckig dargestellt; Vergrößerung ca. 1000-fach.



Abb. 9: Dalbe ohne baulichen Holzschutz. Im Süßwasser ist der obere Teil oft am stärksten gefährdet. Oberer Teil massiv braunfäulig und final zerstört; der untere Teil ist deutlich weniger angegriffen.

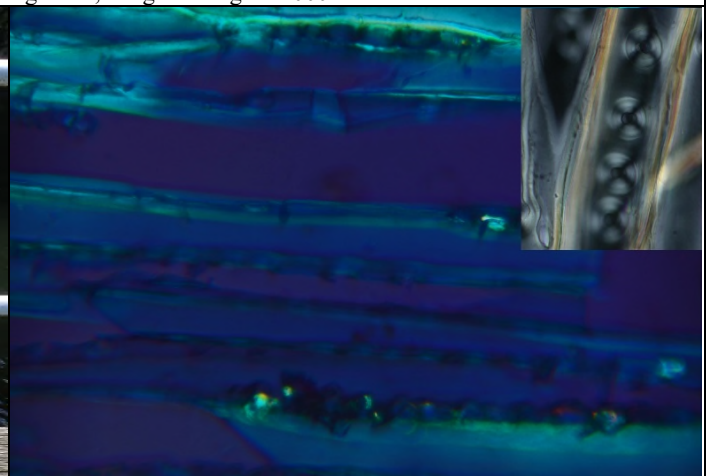


Abb. 10: Braunfaules Holz im polarisierten Licht: Im fast final zerstörten braunfaulen Holz ist die Polarisation stark vermindert; fast alle Hyphen wurden wieder resorbiert – ca. 500-fach; Eckbild zeigt die normale Polarisation von gesundem Holz.

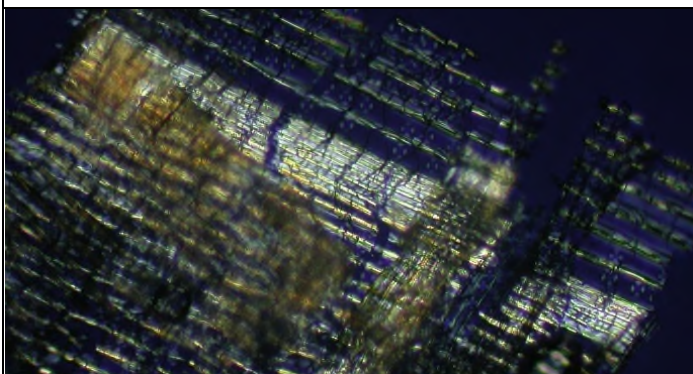


Abb. 11: Braunfaules Holz im polarisierten Licht - zerstörte Teile verlieren/vermindern ihre Polarisation – ca. 100-fach.

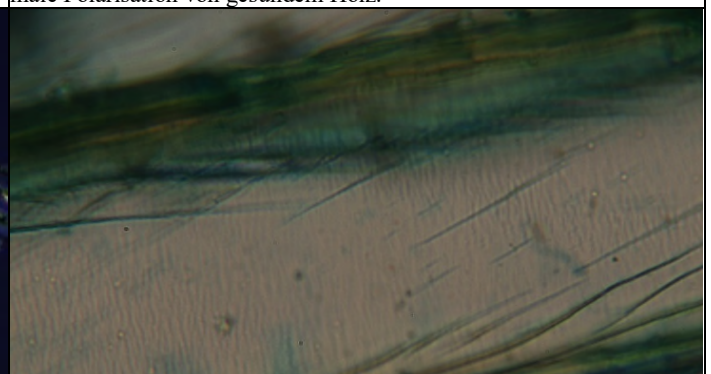


Abb. 12: Mikroskopische Durchlichtaufnahme: final zerstörtes braunfaules Holz; Hyphen wurden resorbiert, feine Risse sind entstanden – ein Trocknungsartefakt – ca. 1000-fach.



Abb. 13: Übersicht und Detail Nessmer-Siel (links); Südseite; 0,8 m über Kai, Südseite, Nadelholz, Splint, massive Braunfäule sichtbar.



Abb. 14: Mischfäule an einer Dalbe. Im Süßwasser ist der obere Teil oft am stärksten gefährdet – oberer Teil massiv weiß- und braunfaul (final zerstört).

Abb. 15: Beispiele für den Holzabbau durch Weißfäulepilze auf mikroskopischer Ebene; oben: Runde bis ovale Kavernen in der Zellwand mit feiner, durchwachsender Hyphe (blau). Unten: Flächiger Zellwandabbau, die Holzzellwände werden dünner und dünner.

Weißfäule

Weißfäulepilze bauen neben Cellulose, Pektinen (in geringerem Maße) und Hemicellulosen auch Lignin ab. Weißfaules Holz wird durch die vom Pilz ausgeschiedenen Enzyme faserig, weich und meist im Verlauf des Abbauprozesses heller (deshalb die Bezeichnung: „Weißfäule“). Eine Rissbildung quer zur Faserrichtung, wie bei Moder- und Braunfäulepilzen, erfolgt nicht. Die mechanischen Eigenschaften des Holzes bleiben daher im Vergleich zur Braunfäule länger erhalten, allerdings kann die Bruchschlagfestigkeit nach einem zweiwöchigen Pilzbefall im Labor bereits um 20 % sinken (SEIFERT, 1968).

Schäden, die nur von Weißfäulepilzen stammen, wurden an den untersuchten Dalben im Meer nicht gefunden; es zeigten sich jedoch gelegentlich Mehrfachbefälle (Abb. 14). Im Süßwasser aber konnten an tropischen Wasserbauhölzern zuweilen Schäden durch Trameeten (*Trametes* – Weißfäulepilz mit i.d.R. kräftigen Abbauvermögen) nachgewiesen werden.

Die Hyphen der Weißfäulepilze wachsen – wie die der Braunfäule-Erreger – meist im Lumen. Der Holzabbau unterscheidet sich von dem oben beschriebenen. Der Abbau schreitet in den Holzzellen streng vom Lumen (innere Holz-Oberfläche) zur Mittellamelle fort, wobei die einzelnen Wandschichten meist gleich intensiv nacheinander abgebaut werden; es ergeben sich dabei Kavernen von z. T. unterschiedlicher Art (Abb. 15 und Abb. 16). Bei den Weißfäulepilzen gibt es auf mikroskopischer Ebene zahlreiche Abbaumuster, die sich unter anderem von Pilz- zu Pilzart aber auch von Holz- zu Holzart unterscheiden.



Abb. 16: Weißfäule-Abbaumuster; Angriff des Ausgebreiteten Hausporlings (*Donkioporia expansa*); Hyphen wachsen im Lumen des Holzes und bauen die Holzsubstanz (braun) vom Lumen herkommend ab; rötlich: Hyphen und Hyphenanschnitte; rechts: coloriertes elektronenmikroskopisches Bild; Vergrößerung ca. 2500-fach; links coloriertes lichtmikroskopisches Bild (mehrere Ebenen); Vergrößerung ca. 1000-fach.

Moderfäule

Ähnlich wie bei der Braunfäule werden fast nur Cellulose und Hemicellulosen abgebaut. Das Lignin kann nicht in den Stoffwechsel des Pilzes gelangen. Daher zeigt trockenes moderfaules Holz oft auch einen Würfelbruch mit Rissen quer zur Holzfasern (Abb. 17). Dieser ist i.d.R. fein und wird oft als braunfäule-ähnlicher Würfelbruch dargestellt, zuweilen tritt auch ein Holz-Abschilfern auf. Makroskopisch schwerer zu bestimmen sind Doppelbefälle mit Weiß- und Moderfäulepilzen, da die Moderfäule dann oft weniger schwarzgrau ist und sich so farblich noch mehr der Braunfäule annähert. Jedoch sind die Abbaumechanismen andere: Ein Charakteristikum der Moderfäule ist der kavernenförmige Abbau der Holzzellwände (Abb. 19 und Abb. 20). Dabei wachsen die Hyphen direkt in den Holzzellwänden und bilden ihre Kavernen. Dadurch sind sie gut gegen widrige Einflüsse von außen geschützt (Abb. 18). Zuweilen kann moderfaules Holz an den dunkler werdenden Spätholzanteilen erkannt werden, dieses Merkmal fehlt aber erstaunlich oft; zudem kann es auch von einem massiven Schimmelpilzbewuchs herrühren. Es ist also Vorsicht geboten. Moderfäulepilze wurden an allen untersuchten Dalben nachgewiesen. Die Befallsintensität war dabei abhängig vom Dalben-Alter, der Holzart und der Holzfeuchte.



Abb. 17: Probe aus einem Rundholz, ca. 18 Monate im Wasser: Probenanschnitt (Bildzusammenstellung), ca. 9 cm lang (links unten: im Wasser, rechts: im Luftraum); Holzabbau durch Moderfäulepilze (Hauptschaden) von außen nach innen und nach unten abnehmend; Würfelbruch schwer zu sehen (roter Pfeil); Wasserspiegel (blauer Pfeil); Maßstab (unten) mit Millimetern.



Abb. 18: Typischer Angriff eines Moderfäulepilzes im Holz (schematische Darstellung); die Kavernen (blau) werden direkt in der Holzzellwand gebildet; im Lumen wachsen zudem Hyphen von Schimmel- und Moderfäulepilze (grün).



Abb. 19: Elektronenmikroskopische Aufnahme; Längsschnitt, Tropenholz: spitz zulaufende, fast perlenschnurartig angeordnete Kavernen; Hyphen in den Kavernen sichtbar – ca. 1500-fach.

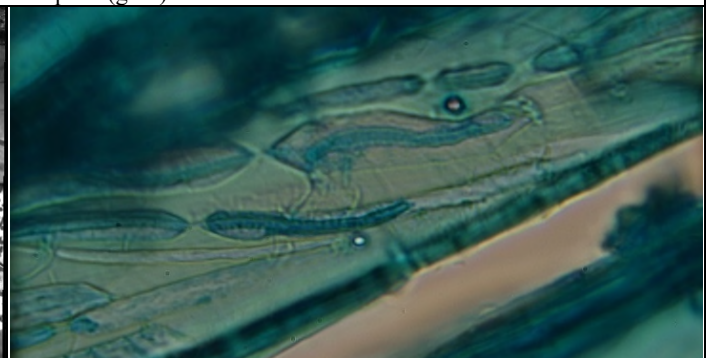


Abb. 20: Mikroskopische Durchlichtaufnahme; Längsschnitt, Kiefernholz: spitz zulaufende, fast perlenschnurartig angeordnete Kavernen; Hyphen in den Kavernen erkennbar – ca. 1000-fach.

Bakterienfäule¹

Bakterien bauen wie Braun- und Moderfäulepilze insbesondere die Cellulose und Hemicellulosen ab, somit können flächige Schäden anhand der Polarisationsmikroskopie zugeordnet werden. Es werden drei Typen des Abbaus unterschieden, wovon hier zwei vorgestellt werden: a) Typ: Erosions-Bakterien und b) Typ: Tunnel-Bakterien. a) An Pfahlgründungen kann häufig das Abbaumuster „Erosion“ beobachtet werden (Abb. 21). Dieser flächige Abbautyp tritt vermehrt auf, wenn ein Übergang von aeroben zu anaeroben Bedingungen vorliegt. b) Tunnel-Bakterien wurden seltener nachgewiesen (Abb. 22), sie bilden sehr feine, oft kurzastige verzweigte Tunnel, an deren Spitze das Bakterium Holz abbaut. Die Verzweigungen entstehen, wenn sich das Bakterium zerteilt.

Holzabbau durch Bakterien

Einführung

Bakterien sind in der Lage frei zugängliche Zucker sowie Bestandteile der lignifizierten Zellwände abzubauen. Geeignete Umgebungsbedingungen finden sich im stehenden Stamm, beim Flößen oder der Nasslagerung von Sturmwurf-Hölzern sowie Hölzern

¹ Ein Bakterien-Befall im Holz kann eindeutig nur im Transmissions-Elektronenmikroskop nachgewiesen werden. In dem vorgelegten Bericht kann nur eine gut begründete Ansicht dargestellt werden, die auch durch eigene Untersuchungen gestützt wird (REHBEIN et al., 2009). Der Abbau ähnelt dem von NILSSON (1974) und den oben genannten Autoren dargestellten Bild von Schäden durch Bakterien. Außerdem fehlen fast immer Hyphen im Holz.

im Wasser- oder Erdkontakt, wie z.B. Schiffswracks und Gründungspfähle (u.a. LIESE, 1950; LIESE, 1955; HARMSSEN/NISSEN, 1965; KIM et al., 1996; BJÖRDAL et al., 1999, 2000, 2005; GELBRICH et al., 2008; KLAASSEN, 2008, 2009; REHBEIN et al., 2009). Auch mit Holzschutzmitteln behandelte Hölzer werden befallen (EATON, 1994), z. B. Masten und Bahnschwellen. Seltener sind Schäden im Holzbau. Hier sind besondere Verhältnisse nötig, wie lange Vernachlässigung, aber auch Insektenschäden haben als Begleiter nicht nur Pilze, sondern auch Bakterien. Ihre Bedeutung ist jedoch gering, da der Holzabbau durch Bakterien sehr lange Zeiträume benötigt um größere Ausmaße anzunehmen.

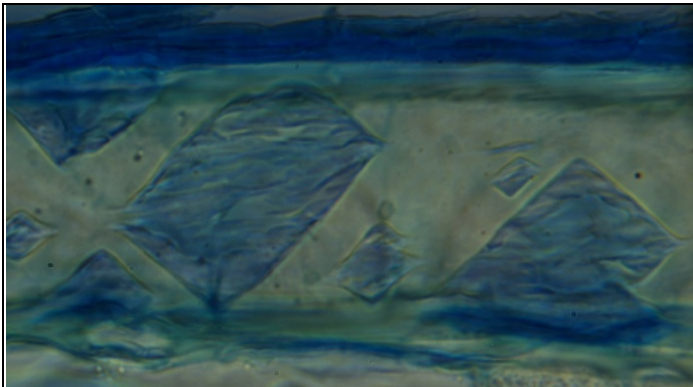


Abb. 21: Abbaubild, das einem Bakterien-Befall zugeschrieben wird; Typ: Erosion; zusammenfließende Kavernen bilden verschiedene Schadstellen (blau) – ca. 1200-fach.

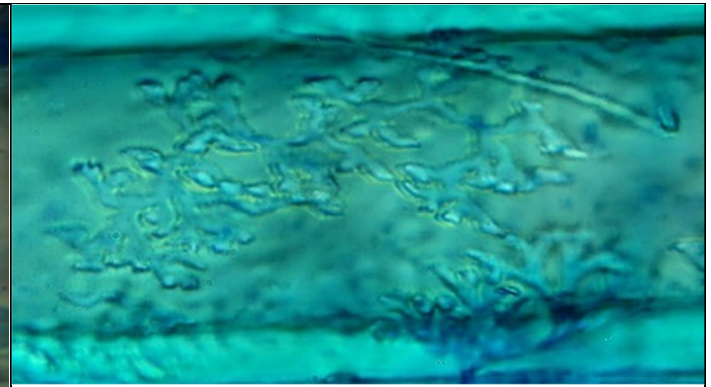


Abb. 22: Abbaubild, das einem Bakterien-Befall zugeschrieben wird; Typ: Tunnel; es entstehen sehr feine, z. T. vielfach verzweigte Kavernen – ca. 1600-fach.

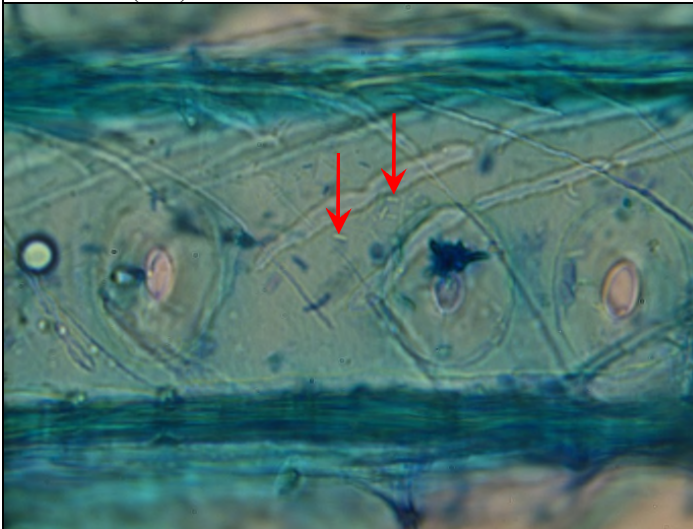


Abb. 23: Stäbchen-Bakterien im Holz zusammen mit Moderfäule-Kavernen (blau gefärbt); die Hof-Tüpfel haben einen Durchmesser von ca. 20 µm.

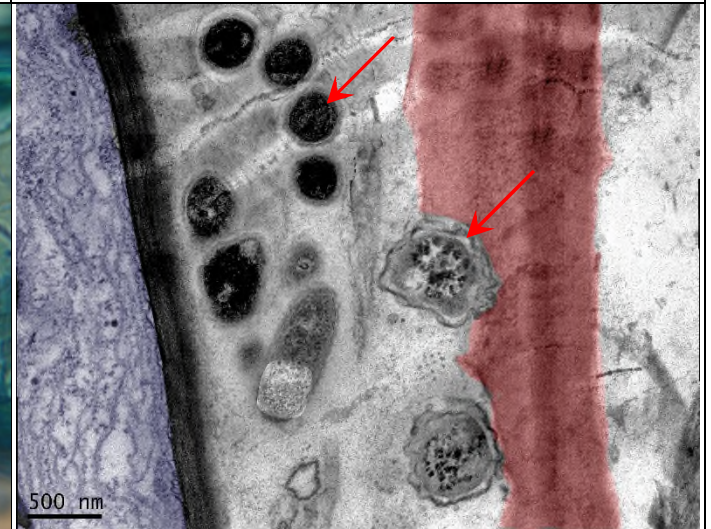


Abb. 24: Hoch auflösende, elektronenmikroskopische Aufnahme: Detail von Bakterien im Holz (Pfeil; übrig ist vom Holz nur noch die Mittellamelle – braun coloriert) zusammen mit Moderfäulepilzen (links im Holz – blau) – ca. 10000-fach.

Vorkommen, Aussehen und Holzabbau durch Bakterien

Der Holzabbau durch Bakterien findet zumeist im „Verborgenen“ statt. Holzabbauende Bakterien zählen zu den Prokaryonten, genauer den Eubakterien. Durch ihre geringe Größe (0,4 µm, Liese, 1955) bleiben sie selbst unter dem Lichtmikroskop unkenntlich, mit Ausnahme einiger stabförmiger Bakterien (Abb. 23 und Abb. 24; LIESE und KARNOP, 1968; KARNOP, 1972). Weiter fehlen ihnen übergeordnete Strukturmerkmale, die für die diagnostische Charakterisierung hilfreich wären, wie das Oberflächenmycel oder die Fruchtkörperausbildung holzabbauender Pilze. Lichtmikroskopisch erfolgt die Diagnose eines bakteriellen Befalls, unterstützt durch spezifische Färbemethoden, in der Regel indirekt, d.h. über das Abbaumuster (GREAVES, 1969; KARNOP, 1972; PEEK/LIESE, 1979; SCHMIDT/LIESE, 1994). Erst unter Anwendung der hochauflösenden Elektronenmikroskopie können der Bakterienkörper sowie Einzelheiten des Zellwandabbaus dargestellt werden (NILSSON/SINGH, 1984; SINGH/BUTCHER, 1986; SINGH, 1989; DANIEL, 1994; SCHMIDT/LIESE, 1994; KIM/SINGH, 2000; BLANCHETTE, 2000; POWELL et al., 2001; SCHMITT/MELCHER, 2004; REHBEIN et al., 2009).

Im stehenden Stamm treten Bakterien im Rahmen einer Sukzession synergistisch mit Pilzen auf (SHIGO, 1965). Häufig geschieht dies im Zusammenhang mit der Erkrankung eines Baumes, dem Vorkommen eines Nasskerns oder einer exogen ausgelösten fakultativen Verkernung (SCHMIDT, 1985). Hierbei treten Bakterien oft als Erstbesiedler auf (SCHMIDT, 1994). Im Holz ernähren sich Bakterien von frei zugänglichen Zuckern, Inhaltsstoffen der Parenchymzellen, und bauen nicht-lignifizierte Tüpfelmembranen ab (LIESE, 1970b). Durch die Synthese von Stoffwechselprodukten kommt es im Holz zu Veränderungen des pH-Wertes, zum Teil zu unangenehmen Gerüchen, z.B. nach Buttersäure, sowie zu Verfärbungsreaktionen (LIESE/KARNOP, 1968; SCHMIDT et al., 1986; SCHMIDT/MEHRINGER, 1989).

Vorkommen im Hochbau und mögliche Fehler in der nachfolgenden Bearbeitung von Holz

Das Holz von Stämmen, die z.B. nach einem Windwurf zum Schutz gegen Austrocknung über einen längeren Zeitraum berieselt oder wassergelagert wurden, wies anschließend eine erhöhte Permeabilität auf. Durch vertiefende Untersuchungen von

ELLWOOD/ECKLUND (1959) und KNUTH/MCCOY (1962) an wassergelagertem Kiefern-Splintholz konnten Bakterien isoliert und unter Laborbedingungen ein Permeabilitätsanstieg des Holzes nachgestellt werden. Durch spätere Untersuchungen gelang es zahlreiche Bakterienstämme aus berieselten bzw. wassergelagerten Hölzern zu isolieren (BERNDT/ LIESE, 1973, SCHMIDT/WAHL, 1987) und einen Abbau der nicht lignifizierten Margofäden der Hoftüpfelmembranen im Splintholz nachzuweisen (LIESE/KARNOP, 1968; KARNOP, 1972). Der bakterielle Abbau kann Verfärbungsreaktionen induzieren (KOCH et al., 2000) sowie durch die lokal veränderte Permeabilität des Holzes zu Spannungen bis hin zur Rissbildung bei der technischen Trocknung führen. Weiterhin wird durch die erhöhte Wegsamkeit das Aufnahmeverhalten von z.B. schützenden oder farbgebenden Behandlungen verändert (WILLEITNER, 1971), d.h. es kommt zur lokalen Überaufnahme (Abb. 26 und Abb. 27).

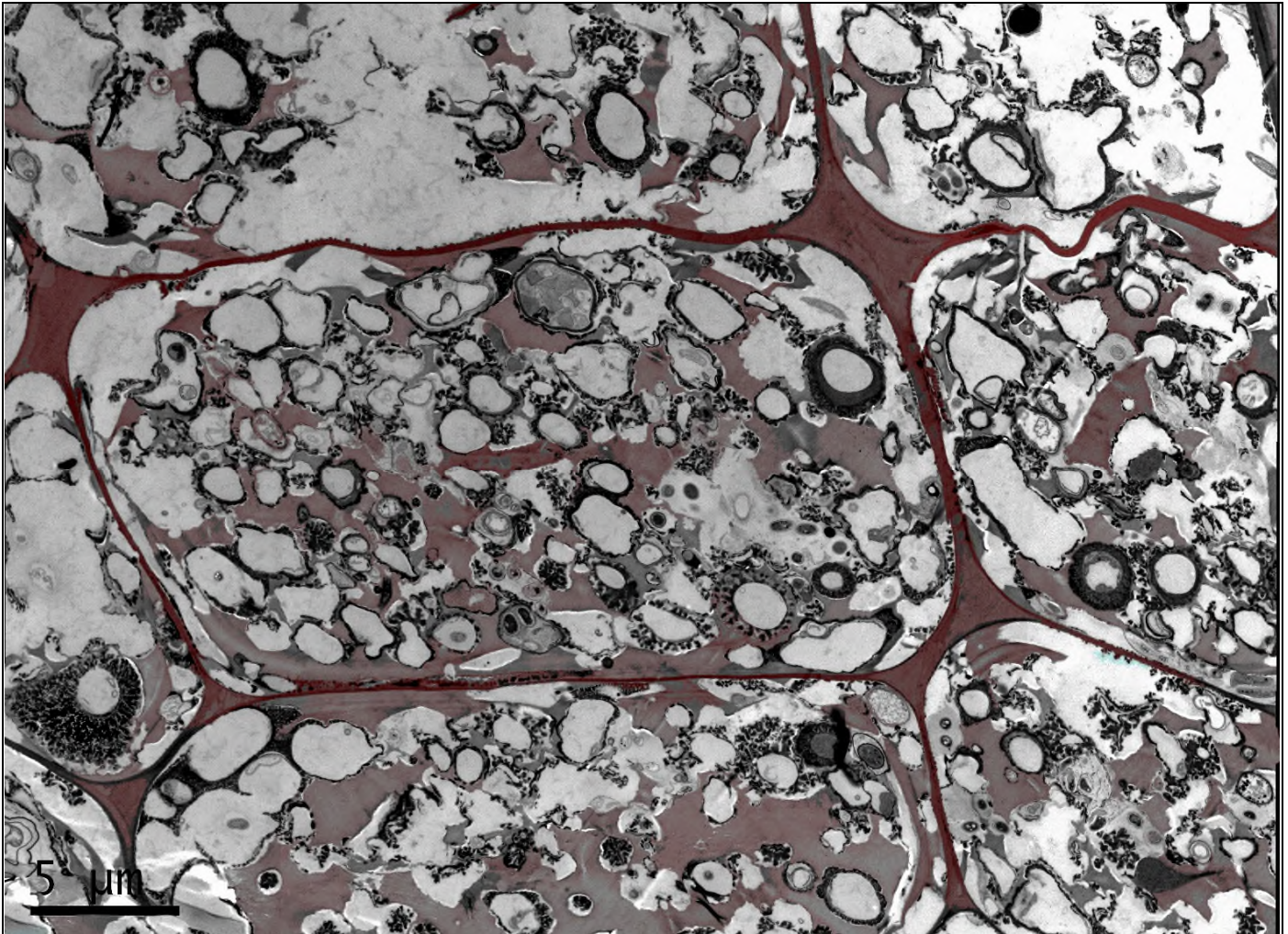


Abb. 25: Schwach auflösende, elektronenmikroskopische Aufnahme: Übersicht von Moderfäulepilz- und Bakterien-Schäden in tropischem Holz (übrig ist vom Holz fast nur noch die Mittellamelle – Holzreste braun coloriert) – ca. 500-fach.

Holzabbau durch Bakterien

Eine nicht bekannte Anzahl von Bakterienstämmen ist in der Lage, lignifizierte Zellwände für ihren Metabolismus zu nutzen, wobei der bakterielle Abbauprozess - im Vergleich zu holzabbauenden Pilzen - langsam erfolgt (KLAASSEN, 2009). Die Holzfeuchte muss hoch, d.h. weitestgehend wassergesättigt und der Sauerstoffanteil gering bis nahezu anaerob sein. Bakterien sind in feuchter Erde und in wässriger Umgebung allgegenwärtig (SCHMIDT, 2006). Unter diesen Bedingungen spielen sie eine wichtige Rolle beim Holzabbau (LIESE, 1955; DANIEL et al., 1987; BJÖRDAL et al., 1999) und verursachen zum Teil hohe wirtschaftliche Schäden (KLAASSEN, 2008). Wissenschaftliche Untersuchungen an Hölzern, die über Jahrzehnte bis mehrere Jahrhunderte bzw. Jahrtausende einem permanenten Erd- oder Wasserkontakt ausgesetzt waren, wie z.B. Gründungspfähle (Abb. 30 und Abb. 31), Bühnen, Konstruktionen in Kühltürmen, Schiffswracks oder hölzerne Kulturgüter aus archäologischen Funden (Abb. 28 und Abb. 29), weisen häufig Abbaumuster durch Bakterienbefall im Holzgewebe auf, auch in Gesellschaft mit Moderfäulepilzen (SINGH, 1997; SCHMITT et al., 2005). Eine abschließende Kenntnis über die genauen Vorgänge beim bakteriellen Holzabbau besteht aktuell noch nicht (BLANCHETTE, 2000).

Holzabbauende Bakterien werden entsprechend der Morphologie ihrer Abbaumuster in zwei häufig beschriebene und eine dritte selten vorkommende Variante unterteilt (SINGH/BUTCHER, 1986; DANIEL et al., 1987; SINGH/BUTCHER, 1991; NILSSON et al., 1992; DANIEL, 1994; BLANCHETTE, 2000), wobei die dritte Variante auch nur eine ungewöhnliche Form der zweiten sein kann (DANIEL/NILSSON, 1998; KIM/SINGH, 2000). Eine taxonomische Klassifizierung erfolgt anhand der Befallsbilder nicht. Unterschieden werden der *Tunnelling*-, *Erosion*- und der *Cavitation*-Typ, wobei die Namensgebung vom jeweiligen mikroskopischen Abbau-bild abgeleitet wurde.

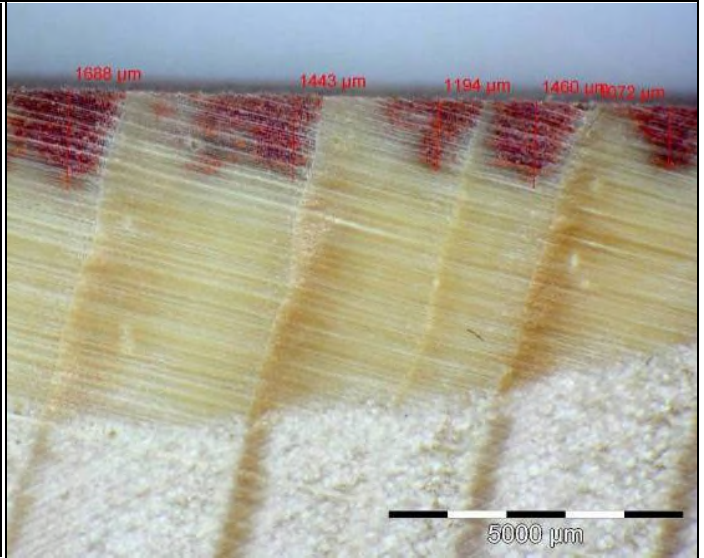
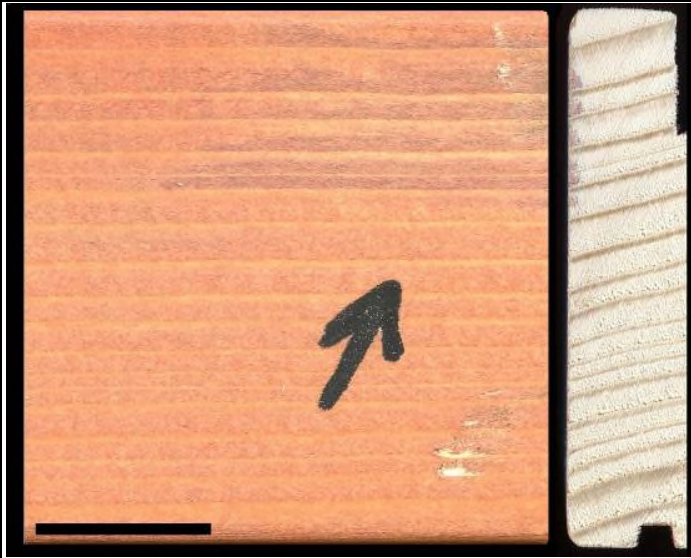


Abb. 26: Fensterkante (*Picea abies*) mit lokaler Überaufnahme der Oberflächenbehandlung; Detailansicht, Maßstab 20 mm.

Abb. 27: Detail aus Abb. 26: Die Überaufnahme der Beschichtung erfolgt im Frühholz.



Abb. 28: Aufsicht: Bruchbild einer Bakterienfäule an Buche.

Abb. 29: Querschnitt: Bruchbild einer Bakterienfäule an Buche.



Abb. 30: Hamburger Hafen: Bereich der Untersuchung; vordere Pfahlgruppe, rechte Reihe, 1. Pfahl von der Uferseite im Bereich des Tidenhubs; Pfahlgruppe liegt täglich zweimal eine Stunde frei.

Abb. 31: Gründungspfahl einer Lagerhalle im Hamburger Hafen (Tidezone). Heller Bereich: Bohrloch der Probenentnahme zur mikroskopischen Untersuchung des Gewebes.

- 1) *Tunnelling*-Bakterien bauen entsprechend ihrer Namensgebung die Zellwand in einem tunnelförmigen Befallsbild ab, wobei vornehmlich die S2, bei fortgeschrittenem Befall aber auch die S3, S1, Primärwand und Mittellamelle abgebaut werden (DANIEL/NILSSON, 1998). Die Tunnel sind durch wiederholt auftretende, halbkreisförmige Wände geprägt (Abb. 32). Innerhalb der Tunnel befindet sich nur wenig bis kein granuläres Abbauprodukt (DANIEL et al., 1987). Nach SINGH/BUTCHER (1991) können die Abbaumuster in Abhängigkeit vom Substrat variieren. Im lichtmikroskopischen Bild ergeben sich feine, baumähnlich verzweigte Abbaumuster (Abb. 34 und Abb. 36).
- 2) *Erosion*-Bakterien bauen die S2 in einem halbkreis- oder rhomben- bzw. diamantenförmigen Muster ab, wobei die Längsachse der Hohlräume entsprechend dem Mikrofibrillen-Winkel ausgerichtet verläuft (NILSSON, 1984). Im fortgeschrittenen Befall kann auch ein großflächiger Abbau der S3 erfolgen. Die S1, Primärwand und die Mittellamelle werden nicht abgebaut (u.a. KIM/SINGH, 2000). Abgebaute Zellwandbereiche weisen variable Mengen eines granulären Abbauproduktes aus Lignin oder Lignin Bestandteilen auf (SINGH et al., 1990; Abb. 33). Im licht- und polarisationsmikroskopischen Bild ist ein flächiger Holzabbau erkennbar, der in frühen Stadien diamantenförmig sein kann (Abb. 35 und Abb. 37).
- 3) Der Zellwandabbau durch *Cavitation*-Bakterien wurde zuerst von NILSSON (1984) und NILSSON/ SINGH (1984) an mit Holzschutzmittel behandelten Stützpfehlen (*Pinus radiata*) für die Kiwi-Pflanze in Neuseeland beobachtet und charakterisiert. Das Befallsbild ist gekennzeichnet durch kleine Löcher sowie diamantförmige oder unregelmäßig geformte Hohlräume in der S2, deren Längsachse im rechten Winkel zum Verlauf der Tracheiden ausgerichtet ist (NILSSON, 1984; NILSSON/SINGH, 1984; SINGH/BUTCHER, 1991).

Der bakterielle Holzabbau wird vornehmlich im Zuge wissenschaftlicher Untersuchungen an wirtschaftlich, kulturell oder historisch relevanten hölzernen Konstruktionen in der Literatur beschrieben. Unter Berücksichtigung der geringen Größe holzabbauender Bakterien und der begrenzten Auflösung lichtmikroskopischer Untersuchungen ist zu vermuten, dass eine unbekannte Anzahl bakterieller Befälle, insbesondere wenn es sich um einen kombinierten Befall mit holzabbauenden Pilzen handelt, nicht diagnostiziert wird, obwohl sich die Abbaumuster durchaus lichtmikroskopisch nachweisen lassen (Abb. 34 bis Abb. 37).

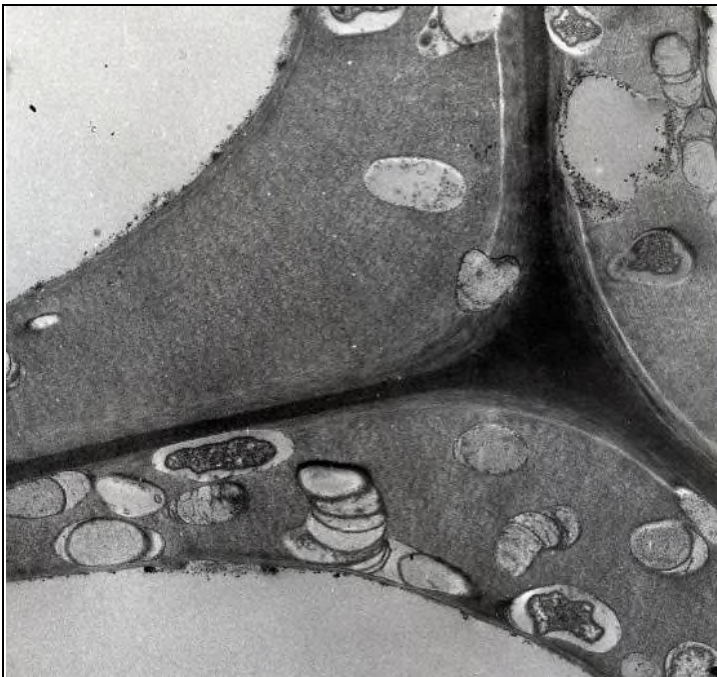


Abb. 32: Tunneling-Bakterien (TEM); die gesamte Zellwand (*Pinus radiata*) wird in einem tunnelförmigen Befallsbild abgebaut. Die Tunnel sind durch Querwände geprägt, granuläre Abbauprodukte sind selten. Die Abbildung wurde zur Verfügung gestellt durch Dr. A. Singh, Neuseeland (Maßstab = ohne weitere Angaben).

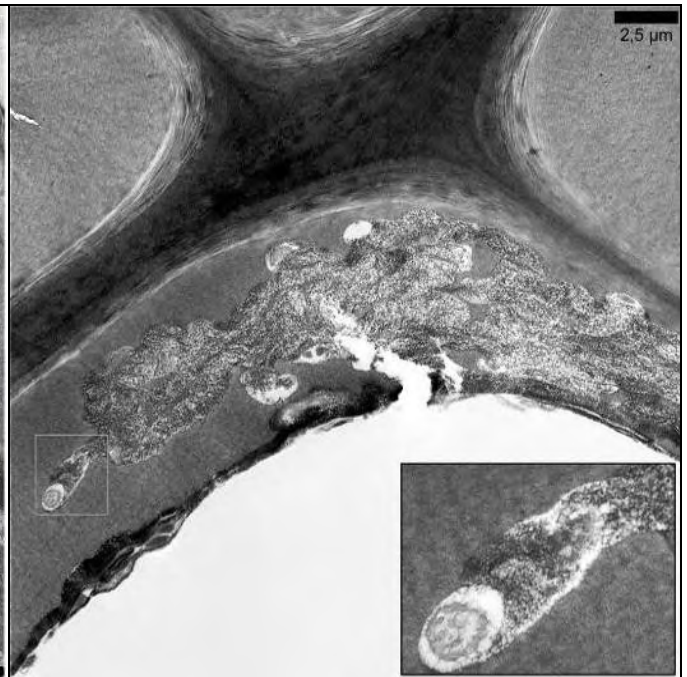


Abb. 33: Erosion-Bakterien (TEM); die S2 (*Pinus sylvestris*) wird großflächig abgebaut, es verbleibt ein granuläres Abbauprodukt. Die S1, Primärwand und Mittellamelle werden nicht abgebaut. Detail: Tunnelartiges Befallsbild mit granulärem Abbauprodukt aber ohne deutliche Querwände.

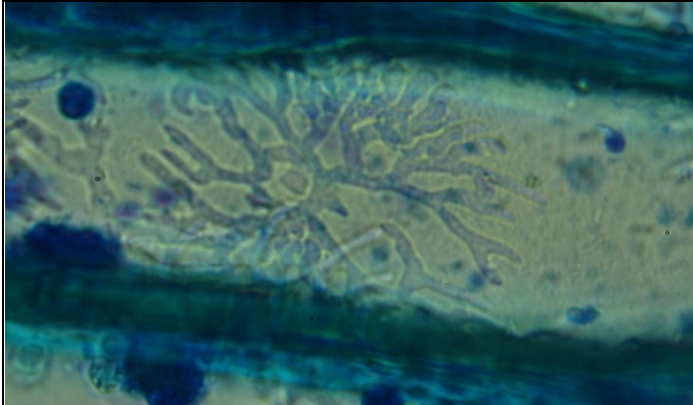


Abb. 34: Große Tunneling-Bakterien (durchlichtmikroskopisch – 1500-fach); die gesamte Nadelholz-Zellwand wird abgebaut.



Abb. 35: Erosion-Bakterien (durchlichtmikroskopisch) im Nadelholz; Befallsgrenze: oben ohne - unten mit massiven Befall; ca. 500-fach.

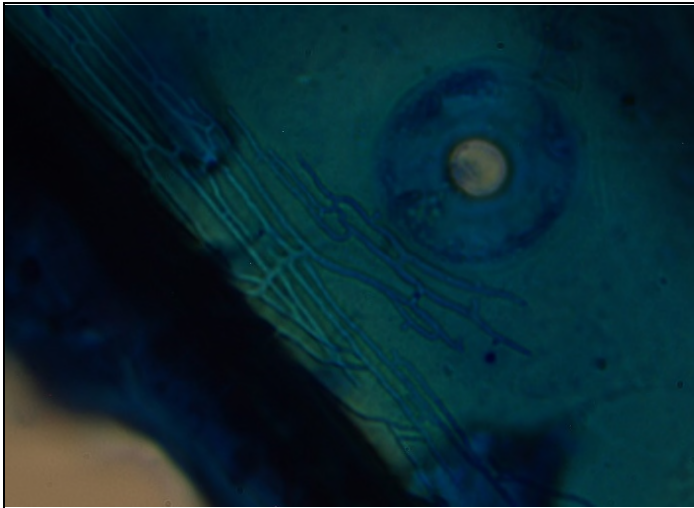


Abb. 36: Kleine Tunneling-Bakterien (durchlichtmikroskopisch – 2000-fach); die gesamte Nadelholz-Zellwand wird abgebaut.

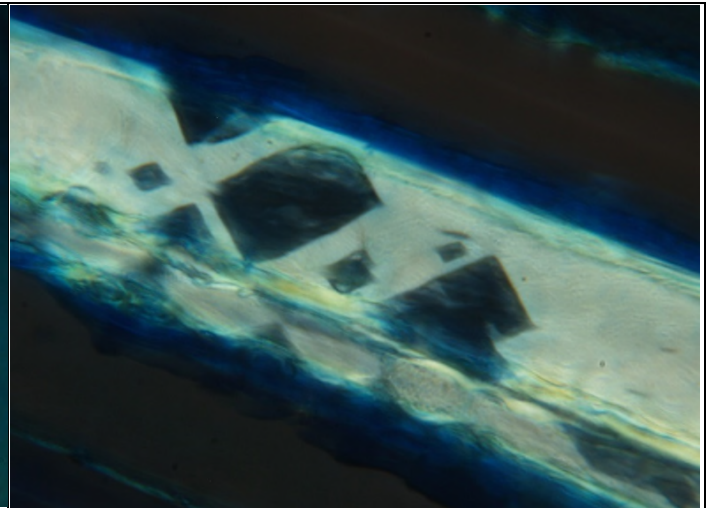


Abb. 37: Erosion-Bakterien (durchlichtmikroskopische Polarisationsmikroskopie) im Nadelholz – ca. 800-fach.

Spezieller Teil

Holzabbau an Dalben

Die Untersuchung der Arten-Diversität von Holzzerstörern an den Dalben zeigt ein differenziertes Bild. Die Dalben zeigen dabei zwei grundlegende Zonierungen: 1. von unten nach oben (Abb. 38) und 2. von der äußeren Mantelfläche nach innen. Nachfolgend wird die Zonierung von unten nach oben beschrieben; je nach Wassertiefe und ggf. vorhandenem Tidenhub sind die einzelnen Zonen unterschiedlich hoch – im Lübecker Hafen nur wenige Dezimeter (Abb. 60), im Hamburger Hafen mehrere Meter (Abb. 30) – oder fehlen zum Teil in Seen.

In der Zone 1 (Schlamm-/Bodenzone) liegen fast ausnahmslos Kavernen von Bakterien vor (Abb. 39 bis Abb. 40). Sie können aufgrund des langsamen Holzabbaus meist vernachlässigt werden. Eine Bedeutung bekommen sie erst bei sehr langen Standzeiten, z. B. bei Pfahlgründungen. Süß- und Brackwasserproben lagen aus dieser Zone nicht vor. Pfahlgründungen im Erdreich unter Gebäuden zeigen einen analogen Befall.

In der Zone 2a (Tidebereich mit ständigen Wasserwechseln und wirbelndem Schlamm „Schlamm-Wasser-Zone“, Salz-/Brackwasser, durch Gezeiten Meeresboden periodisch freiliegend) liegen fast ausnahmslos Moderfäulepilze als wichtigste pilzliche Schadenserreger vor, die als normale, natürliche „Abnutzung“ von Dalben im Wasserbau gelten können. Aber die tierischen Schäden spielen eine große Rolle, größer noch als die Pilze, wenn der Salzgehalt für Bohrrasseln (meist *Limnoria lignorum*) und Bohrmuscheln (*Teredo navalis*) ausreicht (Abb. 41 bis Abb. 44). LANGENDORF (1961) gibt als minimalen Salzgehalt für die Schiffsbohrmuschel 0,7 % an² und für die Bohrrassel 1,5 %. An den drei untersuchten Dalben mit Bohrrassel- und Bohrmuschelbefall war der Schaden durch die Bohrgänge massiv. In allen untersuchten Bereichen fanden sich in den stehengebliebenen Resthölzern massive Schäden durch Moderfäulepilze und Bakterien. Hier liegt der Schluss nahe, dass die holzzerstörenden Tiere von der Tätigkeit der Pilze und Bakterien zumindest profitieren, ggf. sind sie von ihnen abhängig. Im Brackwasser bei starkem Tidehub endet die Bakterienfäule z. T. erst 370 cm über N.N. (z. B. Yacht-Zentrum Störtebeker), wobei ihre Bedeutung insgesamt für Dalben gering ist³. Moderfäulepilze sind an allen Untersuchungspunkten der Zone 2 nachgewiesen worden und haben ihre größte Bedeutung in diesem Bereich bis zum Auftreten der Basidiomyceten-Fäule. Dieser Übergang liegt an Dalben im oberen Bereich des Tidehubes. Eine stärkere Aktivität von Basidiomyceten ist erst oberhalb der Tidehub-Grenze zu beobachten.

In der Zone 2b (Holz ständig unter Wasser, nicht von Gezeiten beeinflusst⁴) wurde eine langsam fortschreitende Zerstörung festgestellt. In der Mantelzone der Dalbe wurden viele Moderfäulepilze, aber auch Bakterienschäden nachgewiesen und im inneren Bereich überwiegend Bakterienschäden. Im Meer- und Brackwasser wurden auch Schäden durch holzzerstörende Meerestiere nachgewiesen, die im Süßwasser fehlten, sonst wie 2a.

Zone 3: Die Wasser-Luft-Zone ist der gedachte Horizont der Hochwasserlinie. In diesem Bereich fehlen Bohrrasseln und Bohrmuscheln, da diese Tiere eine fast stetige Wasserbedeckung benötigen. Mit Probenahmen war diese Zone nicht zu erfassen, da sie sich an Dalben im Tidenhubbereich kaum feststellen lässt. Daher wurde ein Versuchsaufbau im Thünen-Institut genutzt.

² Zuweilen findet sich in der Literatur auch die Zahl 7% Salzgehalt als unterer Wert, dies dürfte ein Übertragungsfehler sein.

³ Schäden durch Bakterien können durchaus bedeutend werden, jedoch ist die Geschwindigkeit der direkten Ausbreitung im Holz gering und beträgt nach den vorliegenden Untersuchungen weniger als 1 mm im Jahr. Es besteht Forschungsbedarf.

⁴ Unterhalb des Tidebereiches (ständig im Meerwasser) wurden keine Proben entnommen, daher wurde diese Zone nicht weiter berücksichtigt. Ein Taucher stand uns für dieses Forschungsprojekt nicht zur Verfügung. Von anderen Untersuchungen mit Probenahme-Taucher wissen wir, dass sich diese Zone nur unwesentliche von Zone 2 unterscheidet; Hauptschadensorganismen sind holzzerstörende Muscheln und Krebse (Abb. 41 - Abb. 44). Viele langlebige Dalben waren aus tropischen Hölzern, so z. B. aus Basralocus/Angelique (*Dicorynia paraensis*). Basralocus z. B. wird von holzzerstörenden Muscheln und Krebsen nicht/kaum zerstört.

Zonen-Definition an Dalben

Meer (M), Brackwasser (B), See (S)

Zone 6 (M, B, S): baulich geschützter Kopf (nur wenn vorhanden), Schäden sind bei Schlagregenbelastung zu erwarten; also bei stark exponierten Dalben.

Zone 5 (M, B, S): baulich nicht geschützter Bereich; Holz über Wasser und kaum vom Salz-/Seewasser beeinflusst; „Bereich der Basidiomyceten“ und Insektenschäden; ein Kennzeichen kann ein reiches Flechtenwachstum sein, oft verbunden mit Innenfäule

Zone 4 (M, B): Holz über Wasser, aber vom Salzwasser beeinflusst; „Bereich der Moderfäulepilze“; ein Kennzeichen kann üppiges Algenwachstum sein.

Zone 3 (M, B, S): Hochwasserlinie (ggf. oberer Tidebereich) „Wasser-Luft-Zone“ bzw. „Bereich des Übergangs“; Bereich der Seepocken (Meer), des Moderfäulepilz- und begleitenden Bakterien-schadens

Zone 2a (M, B): unterer Tidebereich mit ständigem Wasserwechsel und wirbelndem Schlamm „Schlamm-Wasser-Zone“ bzw. „Bereich der Moderfäulepilze, Bakterien-schäden und der holzerstörenden Meerestiere“; ein Kennzeichen ist oft eine sanduhrenförmige Taillierung der Dalbe.

Zone 2b (M, B, S): Holz ständig unter Wasser, nicht von Gezeiten beeinflusst; langsam fortschreitende Zerstörung: außen Moderfäulepilze und innen Bakterien (zudem holzerstörende Meerestiere; im Süßwasser fehlen holzerstörende Meerestiere).

Zone 1 (B, M, S): Erdreich - „Schlamm-/Bodenzone“ „Bereich der Bakterien“



Abb. 38: Eine Dalbe ist in den unterschiedlichen Höhen verschiedenen biotischen Belastungen ausgesetzt, die sehr unterschiedliche Lebensräume bedingen; Haupt-Schaden und -Aspekte jeweils genannt (Bildmontage: T. Huckfeldt).

An der wenig bewegten Wasseroberfläche des „Klotzteiches“⁵ wurde diese Zone genauer untersucht (Abb. 57). Hier ergab sich eine erste Kavernen-Bildungen im Süßwasser durch Moder- und Bakterienfäule am Wasserspiegel (ca. -0,5 und +0,5 cm). Unter Wasser drangen die Mikroorganismen weniger tief ins Holz ein (unter 1 mm) als über dem Wasserspiegel (bis 2,3 mm tief). 9-10 cm über dem Wasserspiegel entstanden nur noch selten Moderfäule-Kavernen und diese waren dann zerstreut. Erwähnenswerte Unterschiede bei den verschiedenen Nadelholzarten ergaben sich nach dem kurzen Versuchszeitraum im Versuchsaufbau am Thünen-Institut kaum⁶. Im salzigen Wasser ergab sich kein Befund im Versuchszeitraum. Am Hafen Norddeich (Meerwasser) kam es dagegen in einem ähnlichen Zeitraum zu einer deutlichen Kavernenbildung, die vergleichbar ist mit den Süßwasser-Kontrollproben im „Klotzteich“ am Thünen-Institut. Für Hafen-Dalben kann ein ähnliches Befalls-Szenarium angenommen werden, nur dass die Befallszone „Wasser-Luft“ aufgrund von hafenspezifischen Gezeiten und des sehr unterschiedlichen Wellenanlaufs an die einzelne Dalbe und auch schon an die einzelnen Dalben-Seiten⁷ deutlich größer ist.

In dem Bereich der Zone 4 (dem Augenschein nach vom Salzwasser beeinflusst; „Bereich der Moderfäulepilze“) oberhalb der Wasser-Luft-Zone (Meerwasser mit Tidehubzone) finden sich vor allem Moderfäulepilze und wenige Bakterien; Basidiomyceten sind rar. Die Vermutung liegt nahe, dass sie die Salzbelastung nicht vertragen. Es wachsen jedoch bestimmte Moose und viele Fadenalgen (Abb. 47 und Abb. 48). Bohrmuscheln und -asseln fehlen hier, im Süßwasser wurden in dieser Zone zahlreiche Werfkäfer-Larven nachgewiesen und im Meerwasser ein besonderer Rüsselkäfer – der Treibholz-Rüssler (Abb. 49 und Abb. 50).

Im Bereich der Zone 5 (baulich nicht geschützt, wahrscheinlich⁸ kaum vom Salz-/Seewasser beeinflusst; „Bereich der Basidiomyceten“) oberhalb der Tidehubzone finden sich vor allem Moderfäulepilze und wenige Bakterien. Selten finden sich Basidiomyceten wie z. B. a) Gallertränen, Schicht- sowie Rindenpilze (Abb. 51 und Abb. 52) mit schwachem Abbaupotenzial im Splintholz und an dauerfeuchten Kernholz-Bereichen und b) einige massive Fäule-Erreger wie Braunfäuletrameten, Sägeblättlinge, Trameten und Rotrandiger Baumschwamm. Als Erkennungsmerkmal können oft Flechten herangezogen werden, wenn kein Pilzschaden vorhanden ist (Abb. 53 und Abb. 54). Als typische Einfallspforten für holzzerstörende Pilzen können Risse angesehen werden. Über die Risse können Sporen tief ins Holz gelangen, bei ausreichender Holzfeuchte auskeimen und erste Mycelien bilden (Abb. 55 und Abb. 56). Jedoch ergab sich eine weitere Differenzierung der Lebensräume in dieser Zone: An der Nordsee standen die Dalben meist einzeln und ragten hoch empor – an den Mantelflächen wurde Gallertränen (*Dacrymyces* spp., Braunfäule) nachgewiesen, eine Pilzart, die an wechselfeuchte Lebensräume angepasst ist. Im Hamburger Hafen liegen vielen Dalben der Hafenbeckenwand vgl. dicht an (Abb. 69 bis Abb. 74). Daraus ergaben sich fast erdähnliche Bedingungen. In diesem Bereich wurde die Gelbe Braunfäuletramete (*Antrodia xantha*, Abb. 61) und der Häutige Lederfältling (*Gloeoporus taxicola*, Weißfäule; Abb. 5) nachgewiesen.

Im Bereich der Zone 6 (baulich geschützt, wenn Abdeckung etc. vorhanden) fanden sich Schäden nur bei Schlagregenbelastung; also bei stark exponierten Dalben. Auch hier ergab sich eine Differenzierung der Lebensräume in dieser Zone: An den einzelnen, hoch aufragende Dalben wurden wieder Gallertränen (*Dacrymyces* spp.) an den Mantelflächen nachgewiesen. Wenn eine Innenfäule vorlag, wurde das Artenspektrum breiter und es wurden z.B. Blättlinge (*Gloeophyllum* spp., Braunfäule) und Weißfäulepilze nachgewiesen, so Trameten (*Trametes* spp.), Karstens Rindenpilz (*Dacryobolus karstenii*), Flaumiger Rindenpilz (*Hyphoderma puberum*) und Zweifarbiges Harzrindenpilz (*Resinicium bicolor*). Es konnte nicht geklärt werden, ob die Innenfäulen ggf. durch Defekte der Abdeckungen möglich wurden.

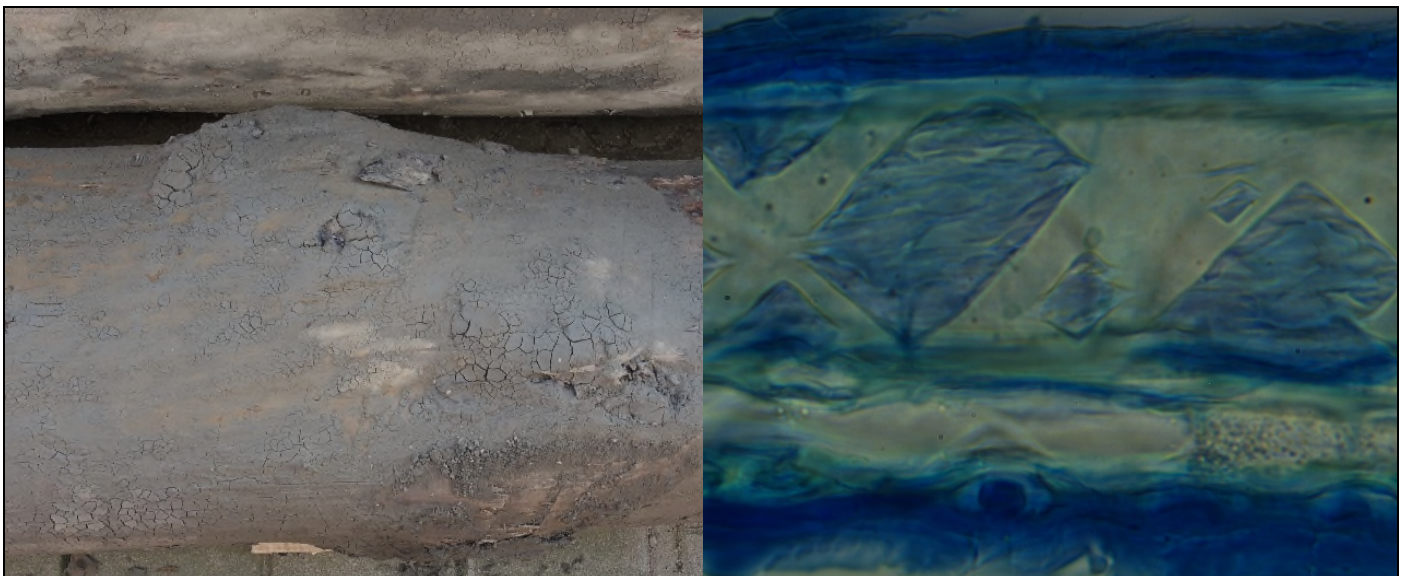


Abb. 39: Gezogene Dalbe: Schlamm-/Bodenzone im Meerwasser; es liegen fast ausnahmslos oberflächliche Bakterien-Schäden vor.

Abb. 40: Erosion-Bakterien mit diamantenähnlichem Abbaumuster (durchlichtmikroskopische Aufnahme) im Nadelholz – ca. 1200-fach.

⁵ Der sogenannte „Klotzteich“ ist ein Versuchsbecken des Thünen-Instituts, in dem schon viele Versuche zum Holzabbau durchgeführt wurden. Es ist ein offenes Betonbecken mit Holzeinbauten und geregelter Wasserstand (Überlauf), das von Gebäuden und Hecken umgeben ist, so dass der Wasserstand sehr gleichmäßig und die Wasseroberfläche beruhigt ist, zuweilen wird es von Enten aufgesucht, die zusammen mit Wind und Wetter für Biodiversität im Becken sorgen.

⁶ Bei Befallstiefe-Unterschieden von z. T. nur einem Millimeter ist eine verlässliche Tiefen-Untersuchung an sägeraunem und nassem Holz bei kleiner Stichprobenzahl repräsentativ schwer möglich, hier sehen wir noch Forschungsbedarf (Abb. 17).

⁷ Dies ist erkennbar an dem unterschiedlich hochwachsenden Algen-Bewuchs und dem Seepocken-Besatz.

⁸ An den Proben aus dieser Zone, an denen der Salzgehalt bestimmt wurde, konnte keine erhöhte Salzkonzentration nachgewiesen werden, jedoch liegen nicht zu allen Proben-Entnahme-Punkten Salzanalysen vor. Auch kann diese Zone an Dalben – ohne eine Salzkonzentrations-Bestimmung – kaum sicher benannt werden, so dass hier noch Forschungsbedarf besteht.



Abb. 41: Dalbe mit Bohrsessel- (*Limnoria lignorum*) und Bohrmuschel-Befall (*Teredo navalis*) mit deutlicher Verjüngung im Befallsbereich.



Abb. 42: Detail der tierischen Schäden; Bohrgangwände zudem geschädigt durch Moderfäulepilze und Bakterien.



Abb. 43: Dalbe mit Bohrsessel-Befall (*Limnoria lignorum*) mit vielen feinen Bohrgängen im Holz.



Abb. 44: Dalbe mit Bohrmuschel-Befall (*Teredo navalis*); Gänge der Muschel mit Kalk-Auskleidung.



Abb. 45: Wasser-Luft-Zone (Tidenhubgrenze) vorwiegend mit Schäden durch Moderfäulepilze; für Muscheln und Asseln ist der Bereich zu „trocken“.



Abb. 46: Eine Probennahme aus diesem Bereich zeigt einen oberflächlichen Schaden, das Holz im Inneren ist hart, frisch und hell.



Abb. 47: Dalbe im Bereich etwas oberhalb der Wasser-Luft-Zone (Tidenhub), viele Luftalgen, aber auch Moose siedeln sich hier an.



Abb. 48: Probennahme-Punkt: Lupenaufnahme des bakterien- und moderfaulen Holzes mit zonierte Holzabbau besonders im dunkler verfärbten Spätholz.



Abb. 49: Cremefarbene, kleine Larven des Rüsselkäfers mit deutlicher Kopfkapself; Fundstelle: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 3: Hafenbecken Ostseite Pfahl 5 von Süd, 18.10.2017.



Abb. 50: Vollinsekt eines Rüsselkäfers in Seitenansicht: braunes kompaktes Tier mit Rüssel; Fundstelle: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 3: Hafenbecken Ostseite Pfahl 5 von Süd, 18.10.2017; Det.: Dr. Noldt: Treibholz-Rüssler – *Pselachus spadix*.



Abb. 51: Oberes Ende einer gezogenen Dalbe (Nordsee): Von außen ist kein Schaden erkennbar.

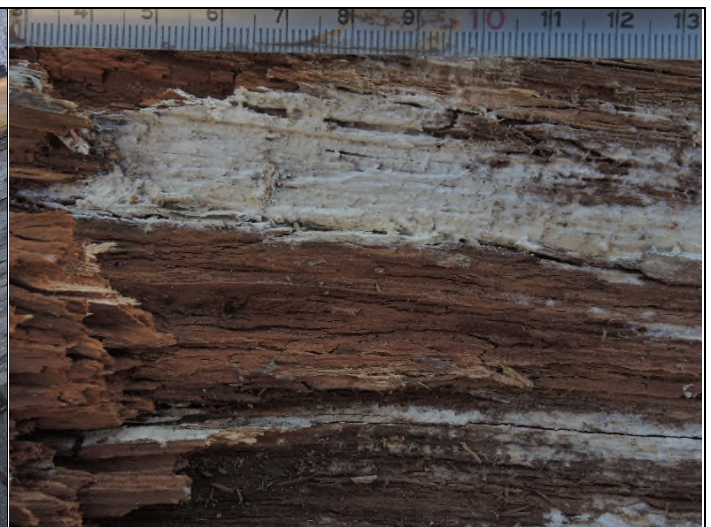


Abb. 52: Oberes Ende einer Dalbe: Nach Bearbeitung mit dem Beil sind primäre (Braunfäule: *Antrodia* spp.) und sekundäre (Weißfäule: Karsens Rindenpilz – *Dacryobolus karstenii*) Schäden erkennbar.

Zudem ergaben sich weitere Aspekte:

1. Es zeigt sich, dass die Pilzaktivität von Moderfäulepilzen an Dalben von der Sauerstoff-Verfügbarkeit abhängt.
2. Im Vergleich zwischen den Proben aus dem Yacht-Zentrum (Salzgehalte ca. 3,5 %) und Hamburger Hafen, zu denen Bildmaterial und aufsteigende Untersuchungsreihen vorlagen, zeigt sich im Meerwasser eine Tendenz zur Verschiebung der Schadenszone nach oben. Siehe hierzu die Salzanalysen im Abschlussbericht der DBU (MÜLLER et al., 2019).
3. Die frühen Stadien (Inkubationszeit bis 18 Monate im Freiland) zeigten eine interessante Kavernen-Verteilung (Ergebnis aus „Klotzteich“ [Abb. 57] und Hafen Norddeich). Die Erreger der Moderfäule- und Bakterienkavernen dringen von außen nach innen

ins Holz ein (von Rissen etc. abgesehen). Das ist lange bekannt. Bei guter Sauerstoffversorgung dringen die Moderfäulepilze jedoch schneller ins Holz ein (mit Kavernenbildung). Kavernenbildende Bakterien dringen nur sehr langsam ins Holz vor. So wurden Moderfäulepilz-Kavernen in bis zu 2 mm Tiefe nachgewiesen, Bakterien-Kavernen aber nur in bis zu 1 mm Tiefe. Bei längeren Standzeiten drehte sich die Verteilung um: Im inneren Bereich des Holzes wurden dann nur Bakterien-Kavernen nachgewiesen (i.d.R. bei einer Befallstiefe über 2 mm). An einer Dalbe im Hamburger Museumshafen (Mahatma-Gandhi-Brücke) mit der Standzeit von einem Jahr waren Moderfäule- und Bakterienkavernen fast gleich tief nachweisbar (ca. 0,1 mm, soweit messbar).

4. In einem Fall wurde ein Holz mit einem Vorschaden (Rohholzbefall) durch den Große Zystidenkammopilz (*Phlebiopsis gigantea*) im Klotzteich untersucht (Rundh.-Nr. 5; Abb. 58 und Abb. 59). Der Große Zystidenkammopilz ist ein Rindenpilz mit schwachem Abbauvermögen, er verursacht eine Weißfäule. Hier zeigte sich, dass sich dieser Befall während der bisherigen Versuchsdauer räumlich verschob und es sogar zu einer Fruchtkörperbildung kam. Oberhalb von ca. 50 cm war dem Augenschein nach kein Befall an den Klotzteich-Hölzern mehr erkennbar, obwohl einige Hölzer in fast ganzer Länge streifig bewachsen waren. Unterhalb von ca. 50 cm kam es am Rundholz Nr. 5 fast rundherum zur Fruchtkörperbildung. An je einem Lärchen- und Douglasienstamm scheint der *Phlebiopsis gigantea*-Befall vertrocknet zu sein (je mehr als 50 cm über dem Wasserspiegel). Die bekannte Empfehlung, vorinfizierte Hölzer auszusortieren, wurde bestätigt.



Abb. 53: Zahlreiche Flechten-Arten wachsen auf dem oberen Ende der Dalbe (Nordsee).

Abb. 54: Zahlreiche Flechten-Arten wachsen auf dem oberen Ende dieser Dalbe (Ostsee).



Abb. 55: Probenübersicht P4: Lärche, Entnahmestelle 2; Pilzprobe am Papier.

Abb. 56: Mycel des Zaunblättlings (*Gloeophyllum sepiarium*) in einem Riss, der sich weit in den Kern zieht.



Abb. 57: Übersicht Klotzteil mit den Probe-Dalben/-Balken im Süßwasser (Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg).



Abb. 58: Rundholz Nr. 3. Probenahme-Ort, Fruchtkörper des Großen Zystidenkammpilzes (*Phlebiopsis gigantea*) erkennbar.



Abb. 59: Rundholz Nr. 5. Probenahme-Ort, Detail eines Fruchtkörpers des Großen Zystidenkammpilzes (*Phlebiopsis gigantea*).

Spezieller Teil 2

Pilze an Dalben

Das grundlegende Spektrum der holzerstörenden Pilze an Dalben entspricht dem, was an Holz im Freien zu erwarten ist (Abb. 2). Eine Besonderheit ergibt sich an den Dalben im Meerwasser, weil Basidiomyceten zu hohe Salzkonzentrationen meiden. Daher verschiebt sich der Befall durch Basidiomyceten nach oben. Der so freie Lebensraum wird von Moderfäulepilzen besiedelt, die sonst gegenüber Basidiomyceten zu konkurrenzschwach sind. Die Tab. 1 gibt einen Überblick der nachgewiesenen Pilze an Dalben.

Die meisten der in Tab. 1 genannten Pilze sind frühe Holz-Besiedler (Abb. 60; initiale Abbauphase, z. B. Striegeliger Schichtpilz – *Stereum hirsuta* und Zerfließende Gallerträne – *Dacrymyces stillatus*), einige zeigen erdähnliche Verhältnisse in Konstruktionen an (z. B. *Mycena galericulata* und *Gloeoporus taxicola*; Abb. 66) und eine dritte Gruppe wächst an Holz in jedem Abbaustadium (z. B. Braunsporrindenpilz und Braunfäuletrameten/Saftporlinge). Der Striegelige Schichtpilz zeigt zudem Splintholz an (BUTIN, 1989). Er tritt im natürlichen Habitat fast ausschließlich auf Splintholz auf. Er ist ein Anzeiger für eine mindere Holzqualität, die den normalen Anforderungen einer Dalbe kaum über längere Zeiträume hinweg genügt.

Ungewöhnlich waren bei den Pilzen zwei Aspekte: A) Die Seltenheit von Blättlingen (*Gloeophyllum* spp.) an den untersuchten Stichproben, die häufiger zu erwarten gewesen wären, da die Blättlinge im Freiland an Hölzern mit der vorliegenden Gebrauchsklasse häufig sind (JAHN et al., 1990; KRIEGLSTEINER, 1991), und B) das zweimalige Auftreten der Gelben Braunfäuletramete (*Antrodia xantha*) im Freiland⁹. Diese Art ist bislang im Norden Deutschlands im Freiland nicht nachgewiesen. Die Gruppe der Moderfäulepilze und Bakterien zeigt die sauerstoffarmen Bereiche an und Bereiche mit nur Bakterienbeschädigungen den fast sauerstofffreien Bereich. Ein Anzeichen für vorinfiziertes Bauholz ist das Vorkommen des Rotrandigen Baumschwamms¹⁰ (HUCKFELDT/SCHRÖTER, 2005).

Unterhalb der Hochwasserzone gibt es keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen Himmelsrichtung und Befall. Auch oberhalb der Hochwasserzone war kein klarerer Zusammenhang zwischen der Himmelsrichtung und der Art des Fäule-Erregers herstellbar, da hierzu die Stichprobenanzahl zu klein war.



Abb. 60: Lübecker Hafen: Striegeliger Schichtpilz (*Stereum hirsutum*) an berindeter Eichenholz-Dalbe; Befall des Splintholzes; Eckbild: Fruchtkörperdetail.

Tab. 1: Häufigkeit von Fäulepilzen an den Dalben

Deutscher Name	Lateinscher Name/Bezeichnung	Fäule-Aktivitäts-Hinweis, Fäuletyp, Häufigkeit	
Moderfäulepilze	Ascomyceten (fast immer)	langsam, oft von außen nach innen, m	70
Bakterienbeschädigungen (siehe Hinweise)		sehr langsam von außen nach innen, bb	40
Zerfließende Gallerträne	<i>Dacrymyces stillatus</i>	schwach (bevorzugt oberflächliches Splintholz), b	15
Gallerträne (inkl. Verdachtsfälle)	<i>Dacrymyces</i> spp.	schwach (bevorzugt oberflächliches Splintholz), b	7
Braunfäule-Erreger: nicht bestimmbar	Basidiomycet	-, b	6
Braunfäuletrameten/Saftporlinge	<i>Antrodia</i> -/ <i>Oligoporus</i> spp.	stark, b	5
Weißfäule-Erreger (Hauptschaden): n.n.	Basidiomycet	-, w	4
Zähnenrindenpilz (inkl. Verdachtsfälle)	<i>Hyphodontia</i> sp.	schwach, w	4
Braunsporrindenpilz (inkl. Verdachtsfälle)	<i>Coniophora</i> sp.	stark, b	3
Gelbe Braunfäuletramete	<i>Antrodia xantha</i>	stark, b	2
Rotrandiger Baumschwamm	<i>Fomitopsis pinicola</i>	bis stark, b	2
Beste Annäherung: Seitling	<i>Pleurotus</i> sp.	bis stark, w	2
Ascomycet (Fragmente)	Ascomycet	unbekannt	1
Judasohr	<i>Auricularia auricula-judae</i>	schwach, w	1
Zusammenfließender Reibeisenpilz	<i>Cerocorticium confluens</i>	schwach, w	1
Brauner Braunsporrindenpilz	<i>Coniophora puteana</i>	stark, b	1
Schichtpilze ohne Gattungszuordnung	<i>Corticaceae</i>	schwach, w	1
Karstens Rindenpilz	<i>Dacryobolus karstenii</i>	schwach, w	1
Drüsling	<i>Exidia</i> sp.	schwach, w	1
Häutiger Lederfältling	<i>Gloeoporus taxicola</i>	unbekannt	1
Zaunblättling	<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	stark, b	1
Flaumiger Rindenpilz	<i>Hyphoderma puberum</i>	schwach (bevorzugt Splintholz), w	1
Schuppiger Sägeblättling	<i>Lentinus lepideus</i>	bis stark, b	1
Rosablättriger Helmling	<i>Mycena galericulata</i>	unklar, gefunden nur an final faulem Holz	1
Schleimpilz	<i>Myxomyceten</i>	kein Fäulepilz	1
Artengruppe Schicht- und Rindenpilze	<i>Phanerochaete/Phlebiopsis</i> sp.	schwach (bevorzugt Splintholz; Rotstreifigkeit), w	1
Beste Annäherung: Weichporenschwamm	<i>Pycnoporellus</i> sp. (cf)	unklar	1
Harz-Rindenpilz	<i>Resinicium bicolor</i>	schwach bis mäßig, w	1
Striegeliger Schichtpilz	<i>Stereum hirsuta</i> (nach Bildern)	schwach (bevorzugt Splintholz), w	1
Ockerfarbene Tramete	<i>Trametes multicolor</i>	stark, w	1
Tramete	<i>Trametes</i> sp.	stark, w	1
Summe (Mehrfachbefälle vorhanden)			179

b = Braunfäule, bb = Bakterienfäule, m = Moderfäule, w = Weißfäule

⁹ In Gebäuden ist *Antrodia xantha* durchaus häufig, auch im Norden (HUCKFELDT/SCHMIDT, 2015).

¹⁰ Dies unterstreicht die Mutmaßung, dass für die Deko-Dalben zweitklassiges Holz verwendet wurde.

Beschreibung von ausgewählten Pilzen und Organismen

Gelbliche Braunfäuletramete (Gelber Porenschwamm – *Antrodia xantha*)

Die Gelbliche Braunfäuletramete ist, wie die Blättlinge, besonders widerstandsfähig gegenüber wechselnden Feuchtigkeits-Verhältnissen. In Gegensatz zu den Blättlingen hat der Fruchtkörper jedoch Poren (Abb. 62) und keine Leisten. An Dalben wurden sie nur in einer erdähnlichen Umgebung nachgewiesen. Die Gelbliche Braunfäuletramete liebt Wärme und tritt deshalb gern an feuchtwarmen Hölzern von Treibhäusern, Kalt- und Warmdächern auf. Ein Wachstum ist zwischen 5-35°C möglich (Tab. 2). Schnellstes Wachstum wird zwischen 28-31°C erreicht (CARTWRIGHT/FINDLAY, 1956; SCHMIDT/MORETH, 2003).

Sie verursacht eine intensive Braunfäule und erreicht an Kiefernspiltholz bei 20°C und 10 Wochen Abbauraten von ca. 14,0% Masseverlust¹¹ und in 18 Wochen an Kiefernspiltholz- und Douglasienkernholz von 45-62 % (ESLYN, 1986). Die Gelbliche Braunfäuletramete bevorzugt Nadelholz und Holzwerkstoffe (Abb. 61), zuweilen wird aber auch Eichenholz in Konstruktionen befallen, zudem in der Natur Weiden (BLANCHETTE et al., 1994). In Europa liegen Belege von Kiefer, Fichte, Tanne und Lärche vor und aus den USA auch von Douglasie (DUNCAN/LOMBARD, 1965; RYVARDEN/ GILBERTSON, 1994). Dalben aus Douglasie wurden z. B. im Hamburger Hafen von der Gelblichen Braunfäuletramete befallen. Natürliche Fundorte in Süddeutschland sind Nadelholzstümpfe, liegende Stämme und auch Äste (LUSCHKA, 1993; KRIEGLSTEINER, 1991, 2000).

Tab. 2: Täglicher Zuwachs der Gelben Braunfäuletramete auf Malzagar bei verschiedenen Temperaturen (nach CARTWRIGHT / FINDLAY, 1958; SCHMIDT / MORETH, 2003)

Temperatur	Zuwachs
5 °C	Spuren
10 °C	3,4
16 °C	5,7
20 °C	9,6
24 °C	12,0
28 °C	13,4
32 °C	10,6
40 °C	0,0



Abb. 61: Braunfäule-Erreger: Gelber Porenschwamm / Gelbe Braunfäuletramete (*Antrodia xantha*); Fundstelle: Hamburg; Am Sandtor kai; Südseite des Hafenbeckens; Dalben im Museumshafen, Probenpunkt 7; etwas unterhalb des Balkenkopfes.



Abb. 62: Porenbild der Gelben Braunfäuletramete (*Antrodia xantha*), die Poren sind weiß bis schwach gelblich, rund bis leicht eckig und etwas unregelmäßig, die Grade sind leicht wellig und die Oberfläche nicht plan; Maßstab mit Millimetern.

Gallertränen

Die Gallertränen (*Dacryomyces* spp.) sind die häufigsten holzerstörenden Pilze an bewittertem Holz überhaupt (JAHN et al., 1990). Allerdings scheint Holzschützern die Bedeutung der Gallertränen erst seit den 80er-Jahren bewusst zu sein, da diese Pilze in grundlegenden früheren Lehrbüchern des Themenkreises meist fehlen (u. a. MEZ, 1908; MAHLKE et al., 1950; CARTWRIGHT/FINDLAY, 1958; LANGENDORF, 1988). Die Zerfließende Gallerträne (*Dacryomyces stillatus*) beispielsweise ist ein eher unauffälliger Pilz, obwohl ihre Fruchtkörper leuchtend gelb bis orange sind. Sie sind aber i. d. R. klein und kurzlebig und treten insbesondere bei feuchtkühler Witterung auf (insbesondere im Herbst, aber auch während verregneten Frühling-/Sommer-Wochen) – „auffallend jedoch nur in Feuchtperioden“ (BREITENBACH/ KRÄNZLIN, 1986).

Es wird Laub- und Nadelholz und auch Tropenholz angegriffen (BECH-ANDERSEN, 1995; HANSEN et al., 1997; ALFREDSSEN et al., 2005; HUCKFELDT/SCHMIDT, 2015; MOSER / PEINTNER, 2007). Ein Vorkommen an Bauholz ist seit ca. 20 Jahren bekannt (SCHLECHTE, 1986). Die Gallertränen verursachen eine Braunfäule mit Würfelbruch, jedoch erscheint die Braunfäule relativ hell (SEIFERT, 1983). Die Holzoberfläche der befallenen Hölzer ist zudem oft vergraut und verwittert, so dass der Eindruck einer Weißfäule entstehen kann. Die Abbauraten sind – zumindest in Laboruntersuchungen – trotz der kleinen Fruchtkörper hoch (Abb. 63). Die Abbauleistung beträgt z. B. bei der Zerfließenden Gallerträne im Standard-Erdeingrabeversuch an Douglasie bis 15,5%, an Erle bis 22,3% und an Weihrauch-Kiefer bis 35,2% in 12 Wochen (SEIFERT, 1983). Gleichwohl sind die Schäden in der Praxis meist von kleinerer Natur und meist oberflächlich und viele Bauteile verbleiben jahrelang am Standort, meist ohne Funktionsbeeinträchtigung.

¹¹ Mit dem Abbau verliert Holz schnell seine mechanischen Eigenschaften, noch bevor ein intensiverer Masseverlust eingesetzt hat. So sinkt beispielsweise bei einem Befall mit Echtem Hausschwamm die Bruchlast bei Masseverlusten von nur 4 % um 14,7-28,3 % ab (Liese/Stamer, 1934). Ein ähnlicher Verlust ist beim Abbau durch Gelben Porenschwamm (*Antrodia xantha*) zu erwarten.



Abb. 63: Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (*Dacrymyces stillatus*); Fundstelle: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenebeckens; Dalben im Museumshafen, Probenpunkt 7; Kopf des Balkens.



Abb. 64: Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*); Fundstelle: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 8 (Fruchtkörper); Osten, ca. 355 cm über Wasser (ca. 510 cm über N.N.).



Abb. 65: Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*); Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Nr.; West, ca. 60 cm über Wasser (160 cm über N.N.).



Abb. 66: Häutiger Lederfältling (*Meruliopsis / Gloeoporus taxicola*); Fundstelle: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 7; oberes Befestigungsholz am Kai.

Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*)

Der Rotrandige Baumschwamm kommt an Laub- und Nadelholz vor. Alle gängigen Bauhölzer können befallen werden, Nachweise fehlen jedoch von Robinie und tropischen Hölzern. Die Art infiziert lebende Bäume und liegende Stämme und ist häufig. Die Baumschwamm-Arten bilden in Gebäuden unscheinbare und untypisch ausgeformte Fruchtkörper (Abb. 64). Zuweilen treten auch stattliche Exemplare an Dalben auf (Abb. 65). Fruchtkörper sind weiß mit gelben Flecken und roter Linie, das Fruchtfleisch ist weiß bis gelblich, fest, korkig und mit auffälligem Geruch, alt wird es gelb bis bräunlich und ist oft zoniert. Die Unterseite ist cremeweiß bis hell-zitronengelb mit ca. 3-4 Poren je mm. Normal entwickelte Fruchtkörper haben eine graue bis schwarze, glatte, krustige Oberfläche und einen roten Rand (Abb. 65). Die Größe der eigentlich konsolen- bis hutförmigen Fruchtkörper reicht von wenigen Millimetern bis 30 cm Breite, 12 cm Dicke und 15 cm Höhe. Alte Fruchtkörper sind holzartig, die Oberfläche der jungen ist fleischig-fest.

Der Rotrandige Baumschwamm ist aus Gebäuden nur von feucht eingebautem und vorinfiziertem Bauholz bekannt; von Holz also, das nicht den Anforderungen von Normen für Bauholz genügt (z.B. DIN 4074.1). Dies gilt wahrscheinlich für fast alle Konstruktionen.

Schleimpilze

Allgemeines

Schleimpilze sind keine Pilze und keine Tiere oder Pflanzen; sie gehören vier verschiedenen Unterreichen an. Die vier Unterreiche zusammen bilden das Reich der höher organisierten Vielzeller. Diesem Reich werden die Bakterien und Urbakterien gegenübergestellt (WEBER, 1993).

Lebensweise

Schleimpilze werden im Wald an morschen Hölzern oft im Verbund mit holzerstörenden Pilzen gefunden (JAHN et al., 1990). Deshalb kann neben dem aufgetretenen Schleimpilz auch ein echter holzerstörender Pilz vorliegen. Nach diesem muss ggf. in der

Konstruktion gesucht werden. Eine Einschätzung der möglichen Notwendigkeit kann aber nur vor Ort erfolgen. Hinweise auf Fäulepilze können sein: modriger oder auffälliger Geruch, Einsinken von Konstruktionsteilen, Weichwerden von Holz, etc.

Wie die Pilze zeigen auch die Schleimpilze ein enormes Formenspektrum. Schleimpilze können Holz nicht angreifen, sie ernähren sich allgemein von Bakterien, Algen und Pilzen – auch von Schimmel- und Hausfäulepilzen –, so dass bei Schleimpilzbefall oft keine oder kaum Hyphen / Mycelien vorhanden sind. Schleimpilze vertilgen oft aber nicht alle Bakterien, Algen und Pilze im Sinne einer Reinigung, andere naheliegende Bauteile können z. B. einen massiven Schimmelpilzschaden aufweisen. Zudem werden Schleimpilze ihrerseits von manchen Schimmelpilzen als Nährstoffgrundlage genutzt (NEUERT et al., 1993).

Verbreitung

In der Natur können die Fruchtkörper häufiger im Frühjahr beobachtet werden (NEUERT et al., 1993). In Gebäuden treten sie ganzjährig auf. Sporen von Schleimpilzen werden vom Wind verbreitet (Hauptverbreitungsart), auch Insekten können zur Verbreitung beitragen, z. B. Fliegen (SELLIER/CHASSAIN, 1976). Die genaue Entfernung, die eine Spore zurücklegen kann, ist nicht bekannt. Allgemein wird angenommen, dass Sporen dieser Größenordnung und Form kilometerweit getragen werden. Es gibt die Annahme, dass sich dunkelfarbige¹² Sporen mit hohen Luftströmungen auf der gesamten nördlichen Hemisphäre ausbreiten können. Dies würde die zirkumpolare Ausbreitung vieler Pilze erklären. *Reticularia lycoperdon* gilt als weltweit verbreitet (NEUERT et al., 1993).

Folgerungen

Unseres Erachtens lässt sich ein wesentlicher Teil des Pilzbewuchses oberhalb der Moderfäulepilz-Zone vermeiden. Ist dies erwünscht, ergibt sich die Notwendigkeit, den baulichen Holzschutz¹³ zu verbessern, da auch schwache holzerstörende Pilze mit den Jahren/Jahrzenten zu starken Fäulen führen können (vgl. z. B. LIESE, 1928). Dabei zeigt sich ein altbekanntes Muster bei Wasserbaupfählen, vergleichbar den Schäden an Masten und Schwellen: Der Ausfall einzelner Bauteile erscheint beliebig, folgt aber einer Gaußschen Kurve. Bei einer großen Anzahl von Pfählen/Hölzern fallen die ersten schon nach einigen Jahren aus (BOLLMUS et al., 2014; NOWOTNY, 1928). Dies wird auch hier der Fall sein, nur ist die Stichprobenzahl zu klein. Oft wird bei Angaben wie der „mittleren Lebensdauer“ übersehen, dass erst, wenn 50 % ausgefallen sind, die mittlere Lebensdauer erreicht ist. Hiervon sind Dalben in gleicher Weise betroffen. Vermutlich ist hierfür die Inhomogenität des Holzes der einzelnen Holzarten verantwortlich. Dieses Phänomen ist auch an anderen, ähnlich stark belasteten Produkten, wie z. B. Masten, Eichen-Zaunpfählen (BRISCHKE/ROLF-KIEL, 2009), Brücken (BRISCHKE et al., 2012; ROBBERS et al., 2018) oder an Hölzern in Testfeldern (JACOBS et al. 2019; RAPP et al., 2010) zu beobachten.

Dalben-Ausfälle wurden im oberen Bereich (z. B. Hamburger Hafen; Abb. 70) durch Basidiomyceten oder in der Wasserzone durch Meerestiere und Moderfäulepilze hervorgerufen. Hierbei haben die Meerestiere zu den stärksten Schäden geführt (z. B. Yacht-Zentrum Störtebeker; Abb. 67).

Der Hintergrund des Projektes

Zielsetzung: Projektziel waren Untersuchungen zum baulichen Schutz von Holz im Meerwasser. Hierbei wurde die Wirksamkeit von Geotextilien gegen Holzschädlinge im Meerwasser geprüft. Damit wurden offene Fragen eines ersten Forschungsprojektes zu Ende geführt. Die Einsatzmöglichkeiten von Geotextilien als bauliche Holzschutz-Maßnahme im Meerwasser wurden geklärt und Empfehlungen zur Verlängerung der Dauerhaftigkeit von Holzkonstruktionen gegeben.

Projekt-Träger, -Leitung und DBU-Nr.: Deutsche Bundesstiftung Umwelt¹⁴; Projektleiter, Ansprechpartner für das Gesamtprojekt: Diplom-Holzwirt Dr. Johann Müller (Autor und Sachverständiger aus Dörpen), DBU-AZ 32571/01.

Projekt-Partner: 1. Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, Ansprechpartner für den Themenkreis Holz und Salz: Dr. Eckhard Melcher sowie Dr. Johannes Welling und 2. IF-Holz, Hamburg, Ansprechpartner für den Themenbereich Schädlinge: Dr. Tobias Huckfeldt und Dr. Mathias Rehbein.

Unsere Fragestellung: Welche holzerstörenden Pilze treten an den Dalben und Hafenkonstruktionen (im Folgenden kurz „Dalben“ genannt) auf und welche Bedeutung haben diese Organismen für die Langlebigkeit der Holzkonstruktion? Der Text gliedert sich in zwei Teile – einen allgemeinen Teil und einen speziellen über Dalben und die daran vorkommenden Organismen.

Vom IF-Holz wurden insgesamt 140 Pilz-, 10 Holzarten- und 8 Tier-/ Insektenbestimmungen ausgewertet; diese wurden oben dargestellt. Hierbei hat das IF-Holz vier Standorte intensiver mit untersucht. Zudem haben wir zahlreiche weitere Dalben und Wasserbauhölzer in Süß- und Meerwasser untersucht (z.B. 5-6):

1. Hafenstraße (Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH); am 22.01.2016 (Abb. 67-Abb. 68).
2. Nessmer-Siel Hafen (Wichter Ee; Abb. 1); Strandstraße, am ersten Parkplatz (gesehen vom Land aus; am 22.01.2016).
3. Hamburg, Museumshafen (Abb. 69-Abb. 74; Am Sandtorkai; Großer Grasbrook am 30.03.2017).
4. Hamburg, Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg, am 17.04.2018 (Abb. 57).
5. Lübeck, Binnenhafen, Südseite (Abb. 60), am 29.10.2016.
6. Lübecker Bucht; Dalbe Seebrücke (Abb. 5 und Abb. 6), 29.10.2016.

Förderung

Das Projekt wurde freundlicherweise durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert; Aktenzeichen DBU-AZ 32571/01; Zeitraum 15.04.2015 bis 30.06.2018; Projektleiter: Herr Diplom-Holzwirt Dr. Johann Müller.

¹² Dunkle Sporen haben einen besseren UV-Lichtschutz als helle Sporen und überleben daher im Sonnenlicht länger.

¹³ Die Option des chemischen Holzschutzes steht u. E. nicht zur Verfügung, da die DIN 68800-1 dem baulichen Holzschutz Vorrang einräumt und es derzeit keine zugelassenen Mittel für den Einsatzzweck gibt.

¹⁴ Der gesamte Bericht kann von den Internetseiten der Deutschen Bundesstiftung Umwelt heruntergeladen werden. Details siehe z. B. unter Punkt 2.7 im Abschlussbericht: „Untersuchungstermine an verschiedenen norddeutschen Standorten“

Dank

Wir danken unseren Projekt-Partnern für die spannende und interessante Zusammenarbeit. Wir danken herzlich für die tatkräftige Unterstützung durch Herrn Jonetzki und Herrn Meyer von der HPA, ohne die eine Probennahme im Hamburger Hafen nicht möglich gewesen wäre. Wir danken herzlich Herrn Dr. Trautner (Thünen Institut) für die molekularbiologische Untersuchung des Großen Zystidenkammopilzes (*Phlebiopsis gigantea*).



Abb. 67: Übersicht Hafenbecken an der Hafenstraße (Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH), Dalben ausgebaut; Probe 1 bis 18



Abb. 68: Übersicht der gezogenen Dalben an der Hafenstraße (Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH); nach der Probennahme wurden die Dalben kopfüber wiederverwendet.



Abb. 69: Hamburg, Einfahrt Museumshafen, unterhalb der Mahatma-Gandhi-Brücke; Südseite des Hafenbeckens, Kontrollprobe „neue Dalbe“ (ca. 1 Jahr alt) ca. 150 cm über Wasseroberfläche; Probenahme: 30.03.2017.



Abb. 70: Hamburg, Museumshafen, Am Sandtorkai; Nordseite des Hafenbeckens, ohne Probenahme, massiv geschädigte, sich an die Haufenmauer anlehende Dalbe, die sich hätte umkippen lassen. Ein massiver Schaden ist nur im Bereich oberhalb des Tidenhubes deutlich.

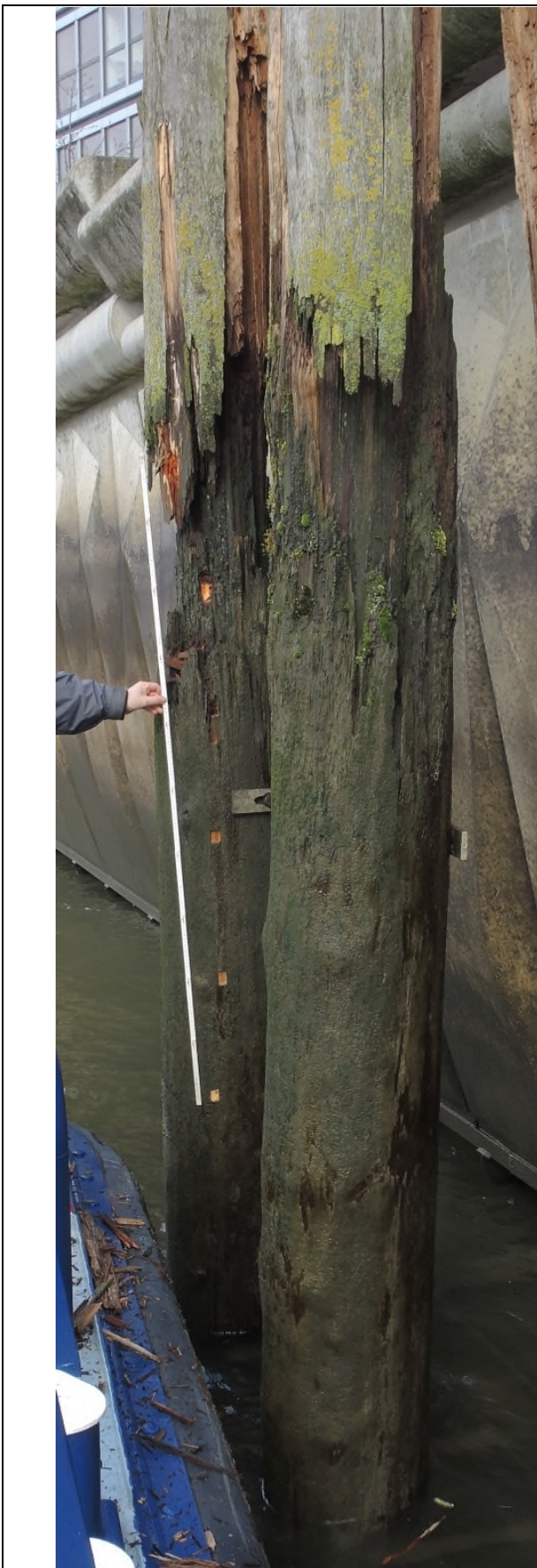


Abb. 71: Hamburg, Hafen am Großen Grasbrook, zweites Deko-Dalben-Paar am Anleger Elbphilharmonie, Dalbe mit Verteilung der Probenpunkte; erster Punkt ca. 60 cm über der Wasseroberfläche; Probennahme: 30.03.2017.



Abb. 72: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, erstes Deko-Dalben-Paar am Anleger Elbphilharmonie, Dalbe mit Verteilung der Probenpunkte; erster Probenahme-Punkt ca. 50 cm über der Wasseroberfläche; massive Schaden über dem Bereich des Tidenhubes; Probennahme: 30.03.2017.



Abb. 73: Hamburg, Museumshafen, Am Sandtorkai; Südseite des Haf Beckens, Dalbe (achte von Osten) mit Verteilung der Probenpunkte; erster Punkt ca. 60 cm über der Wasseroberfläche; Probenahme: 30.03.2017.

Abb. 74: Hamburg, Museumshafen, Am Sandtorkai; Südseite des Haf Beckens, Dalbe (zweite von Osten) mit Verteilung der Probenpunkte; erster Probenahme-Punkt ca. 50 cm über der Wasseroberfläche; Probenahme: 30.03.2017.

Methodik:

Die Analyse gründet sich auf die makro- und mikroskopische Untersuchung der Proben (Morphologie) und Angaben des Auftraggebers. Untersucht wurden die frischen Proben nach Überführung in Leitungswasser und das getrocknete Material, das mit Ethanol

benutzt und dann in Leitungswasser überführt wurde. Gefärbt wurde mit Kongorot in wässriger Lösung, mit Melzers-Reagenz und mit Baumwollblau in Milchsäure (CLÉMENÇON 2009; ERB/MATHEIS 1983; HUCKFELDT/SCHMIDT 2015). Die mikroskopische Bestimmung erfolgte u. a. nach BERNICCHIA/GORJÓN (2010), ERIKSSON et al. (1973-1988), GINNS (1974, 1978), JÜLICH (1984) und NAKASONE (1984). Die Differenzierung/Abgrenzung der Sägeblättlinge (*Lentinus* spp.) folgt, soweit möglich, u. a. BAVENDAMM (1952), BECH-ANDERSEN (1995), COCKCROFT (1979), HUCKFELDT/SCHMIDT (2006). Die Differenzierung und Abgrenzung von *Auricularia* sp. folgt u. a. JÜLICH (1984), BREITENBACH/KRÄNZLIN (1986), HANSEN (1997), JAHN (1990) und KRIEGLSTEINER (2000). Die Differenzierung und Abgrenzung der Gallertpilze folgt u. a. JÜLICH (1984), BREITENBACH/KRÄNZLIN (1986), HANSEN (1997), JAHN (1990) und KRIEGLSTEINER (2000). Die Differenzierung bzw. Abgrenzung der Kellerschwämme / Braunsporrindenpilze folgt u. a. BAVENDAMM (1936), GINNS (1982), HARMSSEN (1982), HUCKFELDT/SCHMIDT (2015) und KEMPER (1937). Die Differenzierung und Abgrenzung der Schicht- und Rindenpilze folgt, soweit möglich, u. a. BERNICCHIA/GORJÓN (2010), ERIKSSON et al. (1973-1988), JÜLICH (1984), KRIEGLSTEINER (2000) und LANGER (1994). Abgrenzung der Porenschwamm-Artengruppe folgt, soweit möglich, u. a. BERNICCHIA (2005), JÜLICH (1984), KRIEGLSTEINER (2000), RYVARDEN/GILBERTSON (1993-1994) und RYVARDEN/MELO (2014). Die Differenzierung /Abgrenzung der Seitlinge (*Pleurotus* spp.) folgt u. a. BECH-ANDERSEN (1995), BREITENBACH/KRÄNZLIN (1991), CARTWRIGHT/FINDLAY (1958), HILBER (1982), HUCKFELDT/SCHMIDT (2015).

Bewertungsmuster für Substratmycel: Können Substrathyphen im Holz nachgewiesen werden, sind in der Regel begründete Diagnosen des Schaderregers / einer Schaderregergruppe in Gebäuden, hilfsweise auch im Freien, möglich (Die Ergebnisse sind dann nur als Richtwert zu verstehen; daher eignen sich Substratmycel-Ergebnisse von Freilandproben¹⁵ kaum für eine w. Publikation). Das verwendete Bewertungsmuster für Hausfäulepilze entspricht der uns verfügbaren Literatur/Erfahrung (u. a. HARTIG, 1885; BAVENDAMM, 1936; PROCTOR, 1941; THEDEN, 1944; JUTTE/ZABEL, 1974; HARMSSEN, 1982; BLANCHETTE et al., 1978; WEIß et al., 2000 und HUCKFELDT, 2003). Hiernach können sehr eng verwandte oder ähnliche Arten nicht getrennt werden. So ist eine Unterscheidung nur in Gruppen möglich. Zudem ist die Fläche einer untersuchten Stichprobe klein, deshalb kann Doppelbefall bei heterogen durchwachsenen Proben nicht ausgeschlossen werden. Hier kann das Umfeld zur Sicherung der Diagnose herangezogen werden.

Literatur

- Alfredsen, G.; Solheim, H.; Jenssen, K. M. (2005) Evaluation of decay fungi in Norwegian buildings. Stockholm: Intern. Res. Group Wood Pre., Doc. No. 05-10562
- Anagnost, S. E. (1998) Light microscopic diagnosis of wood decay. IAWA Journal 19, S. 141-167
- Bariska, M.; Osuky, A.; Bosshard, H. H. (1983) Änderung der mechanischen Eigenschaften von Holz nach Abbau durch Basidiomyceten. Holz als Roh- und Werkstoff 40, S. 241-245
- Bavendamm, W. (1936) Erkennen, Nachweis und Kultur der Holzverfärbenden und Holzersetzenen Pilze. In: Abderhalben E. (Hrsg.) Handbuch d. biol. Arbeitsmethoden, Urban & Schwarzenberg, Berlin, Teil 2, S. 943-1113
- Bavendamm, W. (1952) Holzschädlingstafeln: *Lentinus lepideus* (Buxb.) Fr., Pflanzliche Holzschädlinge. Bundesanstalt für Forst- und Holz-wirtschaft, Reinbek, Holz Roh- Werkstoff 10, S. 337-338
- Bech-Andersen, J. (1995) The dry rot fungus and other fungi in houses. Hussvamp Laboriet ApS, Holte, Dänemark, 139 S.
- Bernicchia, A. (2005) Polyporaceae s. l. Fungi Europaei 10
- Bernicchia, A.; Gorjón, S. P. (2010) Corticiaceae s. l. Fungi Europaei 12
- Blanchette, R. A.; Shaw, C. G.; Cohen, A. L. (1978) A SEM study of the effects of bacteria and yeasts in wood decay brown- and white-rot fungi. Scanning Electron Microscopy 11, S. 61-67
- Bollmus, S.; Gellerich, A.; Brischke, C.; Melcher, E. (2014): Review: Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz. Stand der aktuellen Diskussion. Holztechnologie. S 56 (2), S. 44-51
- Breitenbach, J.; Kränzlin, F. (1986) Pilze der Schweiz. Bd. 2, Nichtblätterpilze. Mykologia, Luzern
- Breitenbach, J.; Kränzlin, F. (1991) Pilze der Schweiz. Bd. 3, Röhrlinge und Blätterpilze, Teil 1. Mykologia, Luzern, 364, S.
- Brischke, C.; Behnen, C.J.; Lenz, M. T.; Brandt, K.; Melcher, E. (2012) Durability of oak timber bridges - Impact of inherent wood resistance and environmental conditions. Int Biodeterior Biodegrad 75: 115-123, DOI:10.1016/j.ibiod.2012.09.010
- Brischke, C.; Rolf-Kiel, H. (2009) Durability of European Oak (*Quercus* spp.) in ground contact – A case study on fence posts in service. Eur. J. Wood Prod., 67 S. 9 Seiten
- Butin, H. (1989) Krankheiten der Wald- und Parkbäume. G. Thieme, Stuttgart, 216 S.
- Cartwright, K. St. G.; Findlay, W. P. K. (1958) Decay of timber and its prevention. His Majesty's Stationery Office, London, 2. Auf., 332 S.
- Clémenton, H. (2009): Methods of working with macrofungi. Laboratory cultivation and preparation of larger fungi for light microscopy. - IHW-Verlag, Eching, 88 S.
- Cockcroft, R. (1979) Some wood-destroying basidiomycetes. Volume 1 of a collection of monographs. Intern. Res. Group Wood Pre., Papua New Guinea, 186 S.
- Duncan, A. G.; Lombard, F. F. (1965) Fungi associated with principal decays in wood products in the United States. U. S. forest service research paper WO-4, Department of agriculture, Washington, 31 S.
- Erb, B.; Matheis, W. (1983): Pilzmikroskopie. - Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 166 S.
- Eslin, W. E. (1986) Utility pole decay. Part 4: Growth-Temperature relations and decay capabilities of eleven major utility pole. Holzforschung 40 (2), S. 69-77
- Eriksson, J.; Hjortstam, K.; Larsson, K.-H.; Ryvarden, L. (1973-1988) The Corticiaceae of North Europe. Vol. 1-8. Fungiflora, Oslo
- GINNS, J. H. (1982) A monograph of the genus *Coniophora* (Aphyllphorales, Basidiomycetes). Opera Botanica 61, S. 1-61
- Guillitte, O. (1992) Epidémiologie des attaques. 2. Auflage: In: La méréule et autres champignons nuisibles dans les bâtiments. Jardin Botanique National de Belgique Domaine de Bouchout, S. 34-42
- Hansen, L.; Knudsen, H.; Dissing, H.; Ahti, T.; Ulvinen, T.; Gulden, G.; Ryvarden, L.; Persson, O.; Strid, A. (1997) Nordic macromycetes, heterobasidioid, aphyllphoroid and gastromycetoid basidiomycetes. Vol. 3. Nordsvamp, Kopenhagen, 444 S.
- Harmsen, L. (1982) Trænedbrydende svampe i gavntæ. Ballerup, Svampe 5, S. 11-58
- Hartig, R. (1885) Die Zerstörung des Bauholzes durch Pilze. Der echte Hausschwamm. J. Springer, Berlin

¹⁵ Die Ursache ist die ungemein größere Artenvielfalt im Freiland im Vergleich zu Wohngebäuden, zumal wenn in einem bisher wenig bekannten Biotop gearbeitet wird.

- Hilber, O. (1982) Die Gattung *Pleurotus* (Fr.) Kummer, unter besonderer Berücksichtigung des *Pleurotus-eryngii*-Formenkomplexes. Bibliotheca Mycologica 87, Verlag J. Cramer, Lehre, 464 S.
- Huckfeldt, T. (2003) Ökologie und Cytologie des Echten Hausschwammes (*Serpula lacrymans*) und anderer Hausfäulepilze. Mitteilungen BFH 113
- Huckfeldt, T. (2015) Praxiswissen Sachkundenachweis Holzschutz am Bau, Teil: Hausfäulepilze und Holzverfärbende Pilze. Eine Fortbildungsveranstaltung des ELBCAMPUS Kompetenzzentrum Handwerkskammer Hamburg in Zusammenarbeit mit dem DHBV Deutscher Holz- und Bautenschutz Verband e. V. und IF-Holz; S. 49
- Huckfeldt, T. (2017) Merkblatt: Gallerttränen (*Dacryomyces* spp.) – Dacryomycetaceae. IF-Holz, Hamburg, 2 S.
- Huckfeldt, T.; Rehbein, M. (2015) Fäule-Schäden an Spielplätzen und ihre Vermeidung. Holzzentralblatt 2015 (26), S. 620-622
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O. (2015) Hausfäule- und Bauholzpilze. 2. Auflage. Rudolf Müller Verlag, Köln, 610 S.
- Huckfeldt, T.; Schröter, Ch. (2005) Baumschwämme, seltene „Gäste“ im Haus. Schützen Erhalten 2005 (3), S. 6-8
- Jahn, H.; Reinartz, H.; Schlag, M. (1990) Pilze an Bäumen: Saprophyten und Parasiten, die an Holz wachsen. Patzer, Berlin, 2. Aufl., 272 S.
- Jülich, W. (1984) Basidiomyceten 1. Teil, Die Nichtblätterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze. In: Gams, H. (Hrsg.) Kleine Kryptogamenflora Bd. IIb/1, Fischer, Stuttgart
- Justo, A.; Miettinen, O.; Floudas, D.; Ortiz-Santana, B.; Sjökvist, E.; Lindner, D.; Nakasone, K.; Niemelä, T.; Larsson, K.-H.; Ryvarden, L.; Hibbett, D. S. (2017) A revised family-level classification of the Polyporales (Basidiomycota). Fungal Biology, doi: 10.1016/j.funbio.2017.05.010.
- Jutte, S. M.; Zabel, R. A. (1974) Initial wood decay stages as revealed by scanning electron microscopy. Part II. Proceedings of the Workshop on Scanning Electron Microscope and the Plant Sciences. IIT Research Institute, Chicago, USA.
- Kemper, W. (1937) Zur Morphologie und Zytologie der Gattung *Coniophora*, insbesondere des sogenannten Kellerschwammes. Dissertation Forstlichen Hochschule Hann.-Münden. 124 S.
- Kremer, B. P. (2002) Das große Kosmos-Buch der Mikroskopie. Kosmos, Stuttgart, 317 S.
- Kriegelsteiner, G. J. (1991) Verbreitungsatlas der Großpilze Deutschlands (West). Ulmer, Stuttgart, 1016 S.
- Kriegelsteiner, G. J. (2000) Die Großpilze Baden-Württembergs. Bd. 1, E. Ulmer, Stuttgart
- Jacobs, K.; Plaschkies, K.; Scheiding, W.; Weiß, B.; Melcher, E.; Conti, E.; Fojutowski, A. Le Bayon, I. (2019) Natural durability of important European wood species against wood decay fungi: Part 2: Field tests and fungal community. Int Biodeterior Biodegrad 137:118-126, DOI:10.1016/j.ibiod.2018.12.002
- Langendorf, G. (1961) Handbuch für den Holzschutz. VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 330 S.
- Langendorf, G. (1988) Holzschutz: Ein Handbuch für Baufachleute. VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- Langer, G. E. (1994) Die Gattung *Hyphodontia* John Eriksson. J. Cramer, Berlin
- Leibersberger, K. (1970) Holzmasse und Holzschutz. Elektrizitätswirtschaft (69) 23, S. 619-624
- Liese, J. (1928) Zerstörung des Holzes durch Pilze und Bakterien. In: Mahlke, F.; Troschel, E.; Liese, J. (Hrsg.) Handbuch der Holzkonservierung. 2. Auflage, Springer, Berlin, S. 34-105
- Lohwag, K. (1937) Polarisationsmikroskopische Untersuchung pilzbefallener Hölzer. Mikrochemie 23, S. 198-203
- Luschka, N. (1993) Die Pilze des Nationalparks Bayerischer Wald. Hoppea 53
- Mahlke, F.; Troschel, E.; Liese, J. (1950) Handbuch der Holzkonservierung. Springer, Berlin/ Göttingen / Heidelberg
- Mez, C. (1908) Der Hausschwamm und die übrigen holzerstörenden Pilze der menschlichen Wohnungen. Ihre Erkennung, Bedeutung und Bekämpfung. R. Lincke, Dresden
- Moser, M.; Peintner (2007) Farbatlas der Basidiomyceten in 24 Lieferungen, Elsevier, München
- Müller, J.; Melcher, E.; Welling, J.; Huckfeldt, T. (2019) Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser: DBU Abschlussbericht. 190 p, Aktenzeichen: 32571/01-32
- Neubert, H.; Nowotny, W.; Baumann, K. (1993) Die Myxomyceten. Bd. 1-3, K. Baumann, Gomaringen, 343 S.
- Nilsson, T. (1974) Microscopic studies on the degradation of cellophane and various cellulosic fibres by wood-attacking microfungi. Studia Forestalia Suecica 117
- Nowotny, R. (1928) Stangen und Leitungsmaste. In: Mahlke, F.; Troschel, E.; Liese, J. (Hrsg.) Handbuch der Holzkonservierung. 2. Auflage, Springer, Berlin, S. 340-358
- Proctor, J. R. (1941) Penetration of the wall of wood cells by the hyphae of wood-destroying fungi. Yale Uni.: Sch. Forest., Bulletin 47
- Rapp, A. O.; Augusta, U.; Brandt, K.; Melcher, E. (2010) Natürliche Dauerhaftigkeit verschiedener Holzarten. Ergebnisse aus acht Jahren Feldversuch. Wiener Holzschutzzeitschrift 2010, S. 43-49
- Rehbein, M.; Koch, G.; Schmitt, U.; Huckfeldt, T. (2012, z. B. im Internet erhältlich) Topochemical and transmission electron microscopic studies of bacterial decay in pine (*Pinus sylvestris* L.) harbour foundation piles. Micron
- Rehbein, M.; Koch, G.; Klein, P. (2009) Moorleiche: Frau von Peiling. Holzbiologische Befunde vom Sarg. Restauro 5, S. 320-325
- Reid, D. A. (1974) A monograph of the British Dacrymycetales. Trans. Br. mycol. Soc. 62, S. 433-494
- Robbers, K.; Fromm, J.; Melcher, E. (2018) Evaluation of pedestrian timber bridges in the city of Hamburg with particular consideration of design detailing. Wood Mat Sci Eng 13(3): 174-183
- Rypáček, V. (1966) Biologie holzersetzender Pilze. G. Fischer, Jena
- Ryvarden, L.; Gilbertson, R. L. (1993-1994) European polypores. Band 1-2, Fungiflora, Oslo, Norwegen
- Ryvarden, L.; Melo, I. (2014) Poroid fungi of Europe. Synopsis Fungorum 31, Fungiflora, Oslo, Norwegen
- Schlechte, G. (1986) Holzbewohnende Pilze. Jahn & Ernst, Hamburg
- Schmidt, O. (2006) Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. Springer, Berlin, Heidelberg, 334 S.
- Schmidt, O.; Moreth, U. (2003) Molecular identity of species and isolates of internal pore fungi *Antrodia* spp. and *Oligoporus placenta*. Holzfor-schung 57, S. 120-126
- Schneider, H. (1922) Die botanischen Mikrotechniken. Ein Handbuch der mikroskopischen Arbeitsverfahren. Fischer Verlag, Jena, 458 S.
- Seifert, K. (1968) Zur Systematik der Holzfäulen, ihre chemischen und physikalischen Kennzeichen. Holz Roh- Werkstoff 26, S. 208-215
- Seifert, K. A. (1983) Decay of wood by the dacrymycetales. Mycologia 75, S. 1011-1018
- Sellier, R.; Chassain, M. (1976) Observation sur le mode dissémination des Spores d'un champignon myxomycètes par insecte diptère mycétophile. Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France 74, S. 81-85
- Theden, G. (1944) Vergleichende mikroskopische Untersuchungen des im Holz befindlichen Myzels von Bauholzpilzen. Hedwigia 82, S. 93-98
- Wälchli, O. (1970) Zur Frage der Verbreitung holzerstörender Pilze in verschiedenen Höhenlagen. Schweizer Zeitung für Forstwesen 121, S. 811-823
- Weber, H. (1993) Allgemeine Mykologie. G. Fischer, Stuttgart, 541 S.
- Weiß, B.; Wagenführ, A.; Kruse, K. (2000) Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen. DRW, Leinfelden-Echterdingen
- Winter, S.; Schmidt, D.; Schopbach, H. (2004) Schimmelpilzbildung bei Dachüberständen und an Holzkonstruktionen, Fraunhofer IRB, Stuttgart
- Wöldecke, K. (1998) Die Großpilze Niedersachsens und Bremens. (Hrsg: Niedersächsisches Landesamt Ökologie, Hildesheim