

Der Echte Hausschwamm und seine Verwandten -

Neues aus der Forschung für die Praxis

Verwechslungen, Holzabbau, Biologie

Vortrag anlässlich der Frühjahrsveranstaltung in Sparow -
Holzschutzfachtagung des DHBV am 17. April 2004



Dr. Dipl.- Biol. T. Huckfeldt
Perthesweg 54
20535 Hamburg
Tel: 040 / 2000 5424
Fax: 040 / 2000 5425



Abb. 1. Fruchtkörper des Echten Hausschwammes

Im vorliegenden Beitrag werden drei Themen abgehandelt:

Teil 1: Der Echte Hausschwamm und ähnliche Arten, die Schäden anrichten und in Gebäuden vorkommen;
Teil 2: Maßnahmen zur Hausschwammbeseitigung in Anlehnung an DIN 68.800 und WTA-Merkblatt und
Teil 3: Neue Erkenntnisse zum Holzabbau. Die Teile führen jeweils kurz in ihr Thema ein und geben aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse wieder.

Teil 1 - Der Echte Hausschwamm (*Serpula lacrymans*)

Der Echte Hausschwamm bildet Oberflächenmycel, Stränge und Fruchtkörper. Charakteristische Merkmale eines Befalls sind a) zimtbraune, staubende, weißrandige und merulioide Fruchtkörper (Abb. 1, Tab. 1), die oft an sichtbaren Stellen wachsen; b) eine scharf begrenzte, weiße Zuwachsfrente des Oberflächenmycels und c) oft dicke, helle bis silbrig-graue Stränge, die sich verborgen in Mauerwerk und Schüttungen entwickeln (Abb. 2).

Oberflächenmycelien wachsen, anders als es der Name vermuten lässt, nur selten sichtbar. Sie überziehen bzw. durchziehen bei ihrer Ausbreitung verdeckte, feuchte Flächen, Spalten und Risse im Substrat, wachsen aber auch in anorganischen Materialien (Abb. 3). Sie sind lappig und in der Konsistenz vergleichbar mit etwas feuchtem Zeitungspapier. Im Oberflächenmycel können die Stränge, nach Insektenfraß oder autolytischen Prozessen, auch frei liegen. Das Luftmycel ist meist weiß und luftig-wattig (HUCKFELDT et al. 2005). Alle Mycelien sind erst rein weiß, dann weiß bis hell-silbergrau mit gelben Flecken. Alt können sie graue bis fast braunschwarze Färbungen annehmen (Abb. 3).

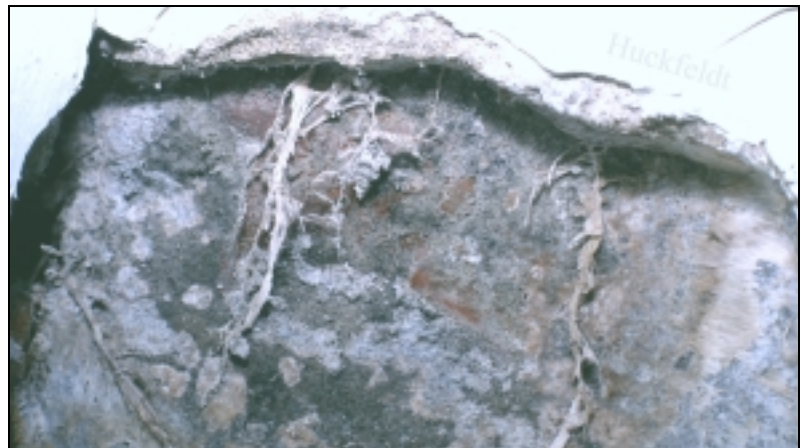


Abb. 2. Mycel des Echten Hausschwammes wächst unterhalb des Putzes. Selbst kleinste Ritzen und Spalten durchzieht es auf der "Suche" nach neuen Nährstoffen. Erkennbar ist neben den Strängen die flächige Ausdehnung des silbrig-grauen bis braunen Mycels hinter dem abgeschlagenen Putz.









Abb. 3. Dunkles bis fast schwarzes Mycel des Echten Hausschwammes.

Verwandte des Echten Hausschwammes

Verwandte des Echten Hausschwammes sind die „Seltene Hausschwämme“, so der Sklerotien-Hausschwamm (*Leucogyrophana mollusca*), Kiefern-Hausschwamm (*L. pinastri*) und der Kleine Hausschwamm (*L. pulverulenta*), aber auch der Wilde Hausschwamm (*Serpula himantioides*). Die *Leucogyrophana*-Arten werden auch als Gewebehaut oder Fältlinge bezeichnet.

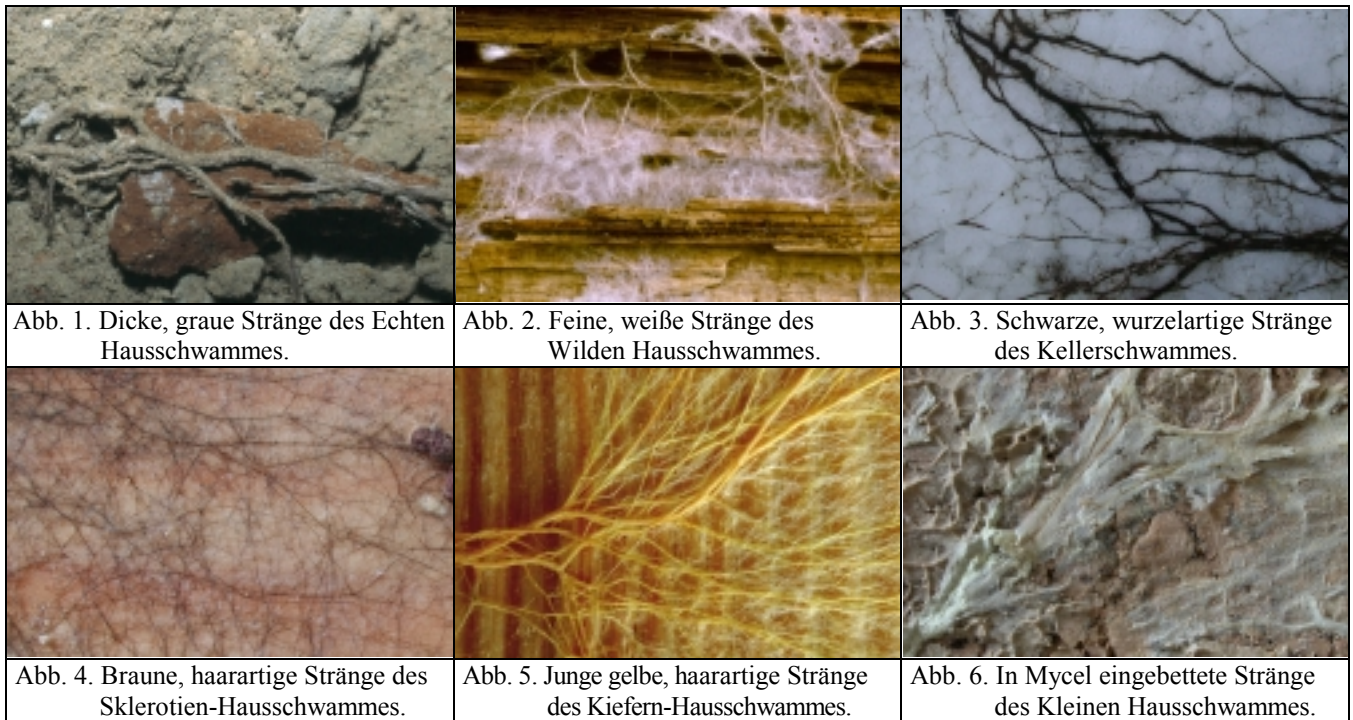
Die Fruchtkörper aller Hausschwämme sind arttypisch (Tab. 1) und produzieren große Mengen von Sporen. Die Sporen sind recht charakteristisch, wenn eine größere Anzahl analysiert wird. Durch Vermessen der Sporen kann Hausschwamm (*Serpula*) ausgeschlossen oder bestätigt werden. Wird die Fruchtkörperdicke hinzugezogen, kann gegenüber dem Wilden Hausschwamm abgegrenzt werden. Fruchtkörper des Wilden Hausschwammes sind frisch maximal 2 mm dick, alt dünner (PEGLER 1991). Die Stränge des Wilden Hausschwammes werden nur 2 mm dick, so das auch über die Stränge eine Differenzierung möglich ist (Tab. 2, HUCKFELDT & SCHMIDT 2004 a, b). Eine Unterscheidung ist nicht möglich, wenn nur dünne Stränge oder Fruchtkörper vorliegen. Dann kann, bei nicht zu alten Pilzteilen, eine Analyse der Erbsubstanz weiterführen. Labore, die dies anbieten, sollten ihre Diagnose auf morphologische und DNS-Sequenz-Merkmale stützen. Grundlagen hierfür bilden Sequenzierungen des ITS-Bereiches der DNS (SCHMIDT et al. 2002; 2003, SCHMIDT & MORETH 2003, SCHMIDT 2003).

Tab. 1: Fruchtkörper der „Seltene Hausschwämme“ im Vergleich zum Haus- und Kellerschwamm.

		
Abb. 1. Breiter und dicker Zuwachsrand des Echten Hausschwammes; Fruchtschicht merulioide.	Abb. 2. Schmäler und dünner Zuwachsrand des Wilden Hausschwammes; Fruchtschicht merulioide.	Abb. 3. Warzige Fruchtschicht des Kellerschwammes mit schmalen Zuwachsrand.
		
Abb. 4. Breiter, aber dünner Zuwachsrand des Sklerotien-Hausschwammes.	Abb. 5. Alter stacheliger Fruchtkörper des Kiefern-Hausschwammes.	Abb. 6. Alter, merulioide Fruchtkörper des Kleinen Hausschwammes eingebettet in weißes Mycel.

Alle Hausschwämme bilden Stränge mit Gefäßhyphen, die Balken tragen. Die Balken sind jedoch nicht immer vorhanden und auch nicht immer so deutlich wie beim Echten Hausschwamm. Die „Seltene Hausschwämme“ haben im Gegensatz zum Echten und Wilden Hausschwamm **keine** Faserhyphen (diagnostisches Merkmal).

Tab. 2: Stränge der „Seltene Hausschwämme“ im Vergleich zum Haus- und Kellerschwamm.



Teil 2 - Schwammbekämpfung:

Die DIN 68.800 bzw. das WTA-Merkblatt (GROSSER et al. 1991; Neuauflage 2004) bieten zwei Möglichkeiten zum Verfahren bei Befall mit Hausfäulepilzen wie Haus-, Keller oder Porenschwamm:

1. Chemische und bauliche Maßnahmen und
2. Verzicht auf Holz im Befallsbereich.

1. Chemische und bauliche Maßnahmen nach DIN 68.800 (im Zweifelsfall im Normwerk nachschlagen)

Für Hausfäulepilze und insbesondere für den Echten Hausschwamm und nicht eindeutig bestimmbare Hausfäulepilze sind für eine fachgerechte Sanierung besondere Maßnahmen festgelegt. Die DIN 68.800, Teil 4 (1992) schreibt bei Schwammbefall für die Sanierung tragender und aussteifender Holzbauteile folgendes vor. Eine abweichte Behandlung gilt im allgemeinen als nicht fachgerecht! Ausnahmen sind jedoch ausdrücklich für kulturhistorisch wertvolle Gebäudeteile möglich. (Nicht Thema dieses Beitrages.) Vor der Sanierung muss der Schadorganismus bestimmt werden (GROSSER 1985, SUTTER 1997 HUCKFELDT & SCHMIDT 2004). Hier helfen auch Fachlabore weiter (z.B. www.hausschwamminfo.de). Ist der Hausfäulepilz benannt, können Befallsausmaß und Sanierungsmaßnahmen festgelegt werden. Hierfür ist es ratsam einen Fachgutachter für Holzschutz einzubeziehen (z.B. unter www.dhbv.de). Vor Beginn der Arbeiten sind Mobiliar, Vorhänge etc. und z.B. auch verklebte Teppiche und Einbauschränke im Befallsbereich zu entfernen.

- Befallene Hölzer müssen in der Regel entfernt werden. Dazu sind noch 30 cm (beim Echten Hausschwamm und nicht eindeutig bestimmbaren „Hausfäulepilzen“ 1 m) über den sichtbaren Befall hinaus als Sicherheitsabstand auszutauschen. Neues Holz ist chemisch zu schützen, ggf. Alternativen prüfen.
- Oberflächenmycelien, Stränge und Fruchtkörper müssen entfernt werden.
- Pilze im Mauerwerk sind ausschließlich chemisch zu behandeln. (Das Heißluftverfahren gilt derzeit als nicht fachgerecht für die Bekämpfung von Hausfäulepilzen. Die im alten WTA-Merkblatt angegebenen Letal-Temperaturen sind zu niedrig (Huckfeldt 2003), beachtenswert sind die Neuerungen im WTA-Merkblatt, FLOHR 2004.)
- Reinigung: Putz vom Mauerwerk abnehmen und **losen** Mörtel entfernen; ein 2 cm tiefes Auskratzen der Fugen ist nach neuem WTA-Merkblatt nicht mehr erforderlich (FLOHR 2004).
- Holzreste, z.B. Mauerhölzer und Holzdübel sorgsam zu entfernen.
- Mauerwerk muss ggf. abgeflammt werden um Mycelreste zu entfernen.
- Bei möglichem Befall sind verdeckte Konstruktionen und Balkenlager freizulegen.
- Hohlräume, auch kleine untersuchen.
- Durchwachsene Schüttungen entfernen; bei einem Befall mit Echten Hausschwamm oder nicht bestimmbare Hausfäulepilze ist einem Sicherheitsabstand von 1,5 m zum Befall einzuhalten.


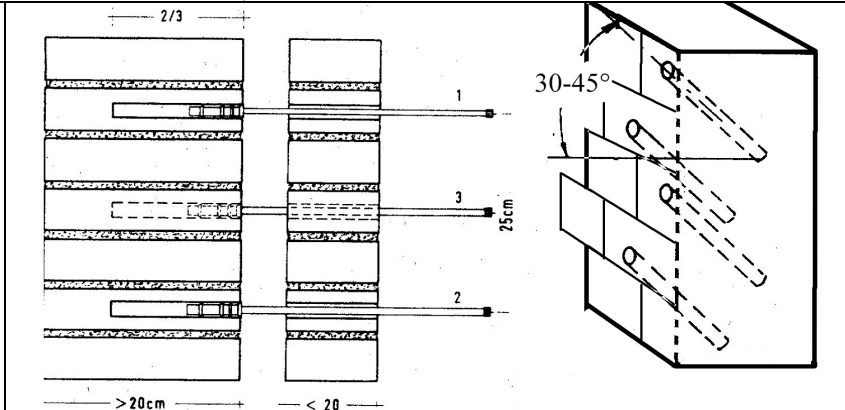
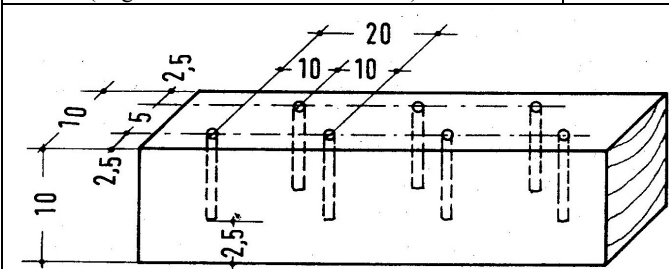
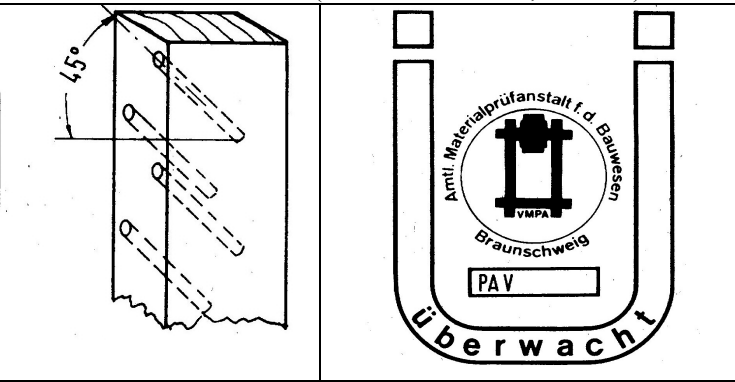
- Angrenzende Räume / Gebäude müssen untersucht werden.
- Die Ursache der erhöhten Feuchtigkeit muss erkannt und beseitigt werden.
- Bohrlochraster anlegen (10-16 mm), ggf. mit Packern (siehe Bohrlochraster „Wand“).
- Schwammsperrmittel einbringen (Drucktränkung oder Befüllungen nach Herstellerangaben).
- Löcher mit Mörtel verfugen.
- Mauer mit Schwammsperrmittel streichen (nach Herstellerangaben).
- Nicht befallene Holzbauteile sind chemisch zu behandeln, wenn es ihre Gefährdungsklasse fordert (DIN 68 800 Teil 3, 1990; vgl. siehe Bohrlochraster, „Balken“).
- Für die Austrocknung der sanierten Gebäude ist zu sorgen.
- Auf die Belange des Umweltschutzes ist Rücksicht zu nehmen.

Der Einsatz von chemischen Mitteln ist auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Es sind für tragende und aussteifende Holzteile nur amtlich geprüfte Holzschutzmittel zugelassen (Detaillierteres siehe z.B. bei MÜLLER 1993 - 6.17). Holzschutzmittel für tragende und aussteifende Holzteile sind im "DIBt Holzschutzmittelverzeichnis" zusammengestellt (ANONYMUS 2004). Neuzulassungen werden regelmäßig z.B. in „Schützen & Erhalten“ (Fachzeitschrift des Deutschen Holz- und Bautenschutzverband e.V. – DHBV, ISSN: 1615-4916) publiziert.

Weitere Hinweise zu Vorgehensweisen sind im WTA-Merkblatt „Echter Hausschwamm – Erkennung, Lebensbedingungen, vorbeugende Maßnahmen, bekämpfende chemische Maßnahmen, Leistungsverzeichnis“ (GROSSER et al. 2004) enthalten.

Der große Nachteil bei einer Sanierung nach der DIN 68.800 ist, dass sehr viel Holz und Mauerwerk ersetzt bzw. behandelt werden muss. Zu beachten ist aber, dass bei einem unzureichend behandelten Befall durch einen Wiederbefall enorme weitere, oft irreparable Schäden hervorgerufen werden können. Der Sicherheitsabstand kann verringert werden, wenn nachgewiesen wird, dass keine Substratmycelien im Bauteil vorliegen (vgl. u.a. ERLER 1997). Der Nachweis erfolgt mikroskopisch.

Tab. 2. Tränkung von Mauerwerk und Balken; für einzelne Werte gelten die Angaben der Schutz- und Sperrmittelhersteller (siehe deren technische Merkblätter)

	
<p>Abb. 1. Schema des Bohrlochraster „Wand“; Abstand der Bohrlöcher horizontal 35-40 cm und vertikal 25-30 cm; bis zu 24 Löcher je Quadratmeter (Fugen sollten vermieden werden).</p>	<p>Abb. 2. links: Zum Verpressen von Schwammsperrmitteln im Druckinjektionsverfahren Bohrlöcher senkrecht ins Mauerwerk einbohren (Bohrlöcher 16-30 mm). rechts: Bohrlöchertränkung: Bohrlöcher in einem Winkel von 30 bis 45° einbohren; Bohrlöchertiefe 2/3 des Mauerwerkes (nach WTA-Merkblatt, verändert).</p>
 <p>nach WTA-Merkblatt (Grosser et al. 1991) Zahlenangaben in Zentimetern</p>	
<p>Abb. 3. Schema des Bohrlochraster „Balken“ für Holzschutzmittel, Bohrlochraster zur Behandlung besonders gefährdeter Holzbauteile; Befüllung der Bohrlöcher nach Herstellerangaben.</p>	<p>Abb. 4. Prüfzeichen der Holzschutzmittel mit allgem. bauaufsichtl. Zulassung.</p>

Ausgestaltung von Balkenlagern

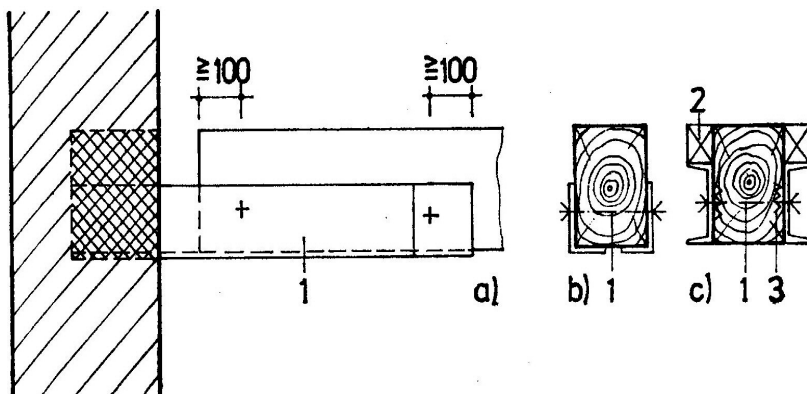
Die Balkenaufleger müssen vierseitig luftumspült sein und zum Rauminneren belüftet werden. An der Hirnseite sollten 3-5 cm Luftraum verbleiben, an der Seite eine Ziegelsteinbreite. Zwischen den Balken und dem Auflager (und nur dort), ist eine Schutzschicht gegen Feuchte (Kondensat etc.) vorzusehen (siehe Anlage 1). Von einem Verzicht auf eine Sperrschicht muss abgeraten werden. Ein Kontakt zur Außenluft sollte vermieden werden, die Balkenköpfe müssen hinter der Kondensations-Front des Mauerwerkes liegen (nach ERLER 2000, ähnlich auch bei STADE 1904). Die in den Balkenauflagern verminderte Wärmedämmung der Außenwand muss ausgeglichen werden. Ausführungsdetails finden sich z.B. bei ERLER (1997, 2000) und MÖNCK (1995). Ggf. geplante Dampfsperren müssen um die Balkenköpfe herumgeführt werden. An Folien (Dampfsperren etc.) ablaufendes Wasser darf nicht zu den Balken oder Balkenköpfen laufen können (Ausführung planen und überwachen).

Neues, chemisch geschütztes Holz muss vorschriftsmäßig kesseldruckimprägniert (oder trogimprägniert) sein (siehe Prüfzeichen; Tab. 3.4). Es sind nur Holzschutzmittel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für tragende und aussteifende Holzbauteile erlaubt, erkennbar an dem „Ü“ (Holzhändler, siehe Tab. 3.4). Schnittflächen sind ins Rauminnere zu legen und mit Holzschutzmittel nachzubehandeln (streichen). Nicht befallene Hölzer sind mit Holzschutzmittel zu tränken (siehe Tab. 2.3). Trockenrisse im Holz sind nachzubehandeln. Nach der chemischen Behandlung der Wand muss diese unverzüglich trocknen (ggf. durch den Einsatz von Bautrocknern). Vor dem Einbau und insbesondere vor dem Trockenausbau sollte das verbaute Holz eine Feuchte von unter 15 % u (besser 12 % u) haben (DIN 68.800 Teil 1). Die detaillierten Bestimmungen und Hinweise der einzelnen Schwammsperr- und Holzschutzmittel sind einzuhalten (siehe technische Merkblätter der Hersteller). Der ausführende Betrieb soll über Fachkenntnisse, Ausrüstung und Erfahrungen im Umgang mit Holzschutzmaßnahmen verfügen. Dem Bauherren ist ein Protokoll der Maßnahmen durch den ausführenden Betrieb zu übergeben und eine Bautafel zu den durchgeführten Maßnahmen anzubringen (Einzelheiten siehe DIN 68.800).

2.1 Verzicht auf chemische Schutzmaßnahmen bei Verzicht auf Holz im Befallsbereich

Die Maßnahmen zur baulichen Ausgestaltung einer holzfreien Konstruktion obliegen dem Architekten oder Statiker.

Zu beachten ist, dass im Gefahrenbereich kein Holz- oder Holzwerkstoff mehr eingebaut werden darf. Eine Anlaschung ist z.B. nach MÖNCK (1995) möglich (siehe Abb. 4). Hierbei muss überlegt werden, wie weit der holzfreie Bereich ins Gebäudeinnere reichen muss. Überlegenswert scheint dies, wenn nur die Balkenköpfe befallen waren. Hier muss jedoch jeder Einzelfall geprüft werden. Wichtig ist bei dem Verzicht auf chemischen Holzschutz, dass trotzdem eine dauerhafte Trockenlegung des Gebäudes oder des Gebäudeteiles zu erfolgen hat (GROSSER et al. 1991).



Balkenauflage mit Stahllaschen

a-b. Winkelstahl, c. Stahlprofil

1. Schraubenbolzen

2. Ausfütterung

3. einseitiger Einpressdübel

nach Mönck 1995

Abb. 4. Balken-Anlaschungen aus Stahl.

Teil 3 - Abbau von Holz durch Hausfäulepilze

Braunfäule

Braunfäuleerreger unter den Hausfäulepilzen verursachen 90 bis 95 % aller Holzschäden in Gebäuden (GUILLITTE 1992). Die häufigsten Hausfäulepilze sind Haus-, Keller- und Porenschwämme, sowie die Gallertränen (*Dacrymyces*) und die Blättlinge (*Gloeophyllum*). Braunfäulepilze bauen Cellulose, Hemicellulose und Pektine ab, nicht aber das Lignin. Mit dem Abbau verliert das Holz schnell seine mechanischen Eigenschaften, noch bevor ein intensiverer Masseverlust eingesetzt hat (SCHULTZE-DEWITZ 1966). So sinkt beispielsweise bei einem Befall mit Echtem Hausschwamm die Bruchlast bei Masseverlusten von nur 4 % um 14,7 bis 28,3 % ab (LIESE & STAMER 1934). Die Abbauleistung von Fäulepilzen ist recht verschieden und abhängig von der Pilzart (Tab. 3), dem Holz (Tab. 4) und den unten noch näher besprochenen Faktoren: Feuchtigkeit, Nährstoffe, Temperatur und Sauerstoff.

Braunfaules Holz schrumpft beim Trocknen in axialer Richtung, was zu dem typischen Würfelbruch mit Rissen quer und längs zur Faser führt (Abb. 5). Im Endstadium des Abbaus verbleibt eine braune Masse mit hohem Ligningehalt,

die auf leichten Druck zu Pulver zerfällt.

Die in Tab. 3 und Tab. 4 genannten Daten sind Anhaltspunkte aus dem Labor, die bei optimaler Entwicklung in der Praxis übertroffen werden können (Abb. 6). Dies zeigen Beobachtungen aus Gebäudebefällen mit dem Echten Hausschwamm, bei denen innerhalb von zehn Monaten eine neue Kiefernholzkonstruktion einsackte. Das bedeutet, dass Balkenköpfe im Format von 10 x 16 cm versagten und nahezu vollständig zerstört waren. Auch eine 2 cm dicke, neu verlegte Eichen-Dielung wurde innerhalb eines Jahres so vollkommen abgebaut, dass sie mit dem Daumen eingedrückt werden konnte.

Im Labor werden Versuche zum Holzabbau routinemäßig zur Überprüfung von Holzschutzmitteln durchgeführt. Hierbei werden nur Pilzstämmen eingesetzt, die eine vorgeschriebene Mindestabbaurrate erreichen.



Abb. 5. Braun- und Weißfäule an einem Holzstück aus einem Dachboden. Braunfäule (Hausschwamm) links mit Würfelbruch und deutlich dunklerer Farbe als die Weißfäule (Hausporling) rechts.

Weißfäule

Weißfäulepilze haben an Hölzern, die direkt der Witterung ausgesetzt sind, eine große Bedeutung. In Innenräumen sind sie seltener; eine Ausnahme bildet der verstärkt auftretende Ausgebreitete Hausporling (*Donkioporia expansa* - KLEIST & SEEHANN 1999). Weißfäulepilze können alle Bestandteile des Holzes abbauen. Dies sind Lignin, Hemicellulose, Pektin und Cellulose. Die mechanischen Eigenschaften des Holzes bleiben im Vergleich zur Braunfäule länger erhalten, allerdings kann die Bruchschlagfestigkeit nach einem zweiwöchigen Pilzbefall um 20 % sinken (SEIFERT 1968). Weißfäulepilze werden meist in zwei Gruppen eingeteilt:

- Weißfäuleerreger, die Lignin und Cellulose annähernd gleichzeitig abbauen, wie die Schmetterlingstramete (*Trametes versicolor*) und der Ausgebreitete Hausporling. Diese Form des Abbaus wird als Simultanfäule bezeichnet.
- Pilze, die überwiegend das Lignin angreifen. Sie werden als Erreger einer „selektiven Weißfäule“ zusammengefasst. Ein Beispiel ist der Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*).

Weißfaules Holz wird faserig, weich und meist im Verlauf des Abbauprozesses heller (Abb. 5). Eine Rissbildung quer zur Faserrichtung, wie sie bei Braunfäulepilzen häufig ist, erfolgt nicht.

Tab. 3. Holzabbau durch verschiedene holzerstörende Pilze; angegeben sind die Masseverluste an Kiefernspiltholz (nach verschiedenen Quellen ¹).

Masseverlust	Pilzart	Poren- schwamm	Keller- schwamm	Hausporling an Eichenholz	Zaun- blättling	Haus- schwamm	Schmetterlings- tramete
nach 4 - 8 Wochen [%]		5-17	6-13	16	-	3-20	19-28*
nach 10-12 Wochen [%]		10-19	19-28	49	70-73	23-42	28-40*
nach 16-20 Wochen [%]		8-25	28-50	38*	-	19-62	38*

* Buchenholz;

¹ Quellenangaben siehe HUCKFELDT (2001).

Tab. 4. Holzabbau durch den Echten Hausschwamm (*Serpula lacrymans*) an verschiedenen Holzarten; angegeben sind die Masseverluste nach 18 Wochen Inkubation (Quelle: WÄLCHLI 1973).

Holzart	Ulme (Kern)	Eiche (Kern)	Robinie	Erle	Buche	Kiefer (Kern)	Lärche (Kern)
Masseverlust [%]	0,8	1,8	12,1	48,0	51,0	31,5	40,6

Voraussetzungen des Holzbaus

Hausfäulepilze sind in ihrer Abbauleistung von vier Faktoren abhängig: a) Feuchtigkeit, b) Nährstoffe, c) Temperatur und d) Sauerstoffgehalt. Daneben spielt auch der Windzug eine Rolle.

- Die Feuchtigkeit ist der eigentlich begrenzende Faktor für die Zerstörung von Holz. Trockenes Holz wird nicht abgebaut. Die Feuchtigkeitsquellen sind so vielfältig wie ihre Ursachen (WILLEITNER & SCHWAB 1981, HUCKFELDT 2003).
- Heimisches Bauholz enthält viele Kohlenhydrate (Cellulose, Hemicellulose, Pektin und Lignin), ist aber vergleichsweise arm an Proteinen, Phosphat und Stickstoff. Die Wachstumsgeschwindigkeit und der Holzabbau können durch den Zusatz von geeigneten Phosphat- und Stickstoffquellen gesteigert werden. Braunfäulepilze sind aber auch in der Lage, gebundenes Phosphat und Magnesium aus Putzen und Böden herauszulösen und für ihren Stoffwechsel zu verwenden (WEBER 1996). In Gebäuden sind besonders alte Putze, verunreinigte Unterbodenräume und Schüttungen in Einschüben als Nährstoffquelle von Bedeutung.
- Die Temperatur ist in Gebäuden für Hausfäulepilze fast optimal. Sie ist nur bei Bekämpfungsmaßnahmen ein Faktor (HUCKFELDT 2003).
- Der Einfluss des Sauerstoffgehalts zeigt sich eindrucksvoll an Rammpfählen, die Jahrhunderte ihre Funktion behalten, so lange sie nass, bzw. sauerstofffrei bleiben.



Abb. 6. Ein durch den Echten Hausschwamm zerstörter Balkenkopf eines Fußbodens im Mauerauflager (freigelegt); Balken 18 x 24 cm. Ein Größenvergleich der Hyphen im Holz ist in **Abb. 11** gezeigt.

Holzabbau

Der Weg der Enzyme ins Holz

Der Holzabbau dient der Nährstoffversorgung der Pilze (Abb. 11). Für den Abbau werden von den Hyphen Enzyme (Fermente) und Radikale gebildet, die das Holz zerstören, und in das Holz ausgeschieden. Dies ist ein komplizierter Prozess, der nur teilweise aufgeklärt ist. Hierbei nehmen die Hyphen eine zentrale Rolle ein. Deshalb ist ihr Aufbau in Abb. 7 dargestellt.

Die Enzyme gelangen ins Holz, aber über den Weg gibt es verschiedene Auffassungen:

- Enzyme werden an der Hyphenspitze abgegeben, da diese noch durchlässig ist. Bohrrhyphen durchdringen die Zellwände und können an dieser Stelle Holz vollständig enzymatisch auflösen, dieses muss an der Hyphenspitze geschehen, da die Hyphe sonst nicht weiter wachsen könnte. Allerdings wurde auch ein hydraulischer Vortrieb diskutiert, da Hyphen einiger Bläuepilze Aluminiumfolie durchdringen können (LIESE & SCHMID 1964).
- Enzyme werden im hinteren Teil der Hyphe eingelagert und erst mit dem Tod der Hyphen frei (LACKNER et al. 1991). Für dieses Modell spräche die Größe der Enzym-Moleküle, verbunden mit der Vermutung, dass diese die Hyphenwand nicht durchdringen können.

Möglicherweise stimmen beide Ansätze und es gibt beide Abgabeweg nebeneinander.

Enzyme bauen die Cellulose im Holz ab

Eine Reihe von Enzymen spalten Cellulose. Die Cellulose ist ein Riesenmolekül, welches aus immer gleichen Bausteinen (Zucker) zusammengesetzt ist. Deshalb lässt sich Holz auch „verzuckern“, um daraus z. B. Alkohol zu gewinnen. Auch Pilze „verzuckern“ Holz.

Die Enzyme, welche Cellulose, aber auch Hemicellulose abbauen, spalten unter Wasseranlagerung die Bindungen zwischen den einzelnen Bausteinen der Cellulose. Zuvor müssen die Wasserstoffbrücken zwischen sehr „festen Ketten“ (β -1,4-Glucanketten) gelockert werden. Einige dieser Enzyme sind bei Braun- und Weißfäulepilzen ähnlich, so die Endoglucanasen (SCHMIDHALTER & CANEVASCINI 1992). Für Weiß- und Braunfäulepilze sind alle Enzyme nachgewiesen, die für einen Abbau von Cellulose notwendig sind. Es sind drei zusammenarbeitende Enzymsysteme: Endoglucanasen (zuständig für die Spaltung der „festen Ketten“ zu Vielfachzuckern - Oligosaccharide), Exoglucanasen (Spaltung der Vielfachzucker in Doppelzucker - Cellobiose) und Cellobiasen (Spaltung der Doppelzucker in einfachen Zucker - Glucose) (CARLILE et al. 2001). Nur diese einfachen Zucker können von den Hyphen aufgenommen werden. Zu einer ausführlicheren Darstellung des Holzbaus siehe z.B. SCHMIDT (1994). Andere Prinzipien des Holzabbaus haben einige Bakterien entwickelt, die nur die oberste Schicht des Holzes abbauen können und deshalb oft mit Tieren in Symbiose zusammen leben, welche ihnen das Holz „zermahlen“ und so eine größere Oberfläche schaffen, z.B. Termiten (SCHWARZ 2003).

Neben Enzymen sind auch chemische Prozesse beim Holzabbau durch Braunfäulepilze beteiligt (HIGHLEY 1982). Es werden drei „Reaktionssysteme“ diskutiert, die das Eindringen der Enzyme in das Holz erleichtern sollen: Wasserstoffperoxid, Oxalsäure und Expansine (Einzelheiten z. B. in HUCKFELDT 2003). Auch hier arbeiten möglicherweise zwei oder alle drei Reaktionssysteme zusammen. Dieser Punkt ist derzeit noch offen.

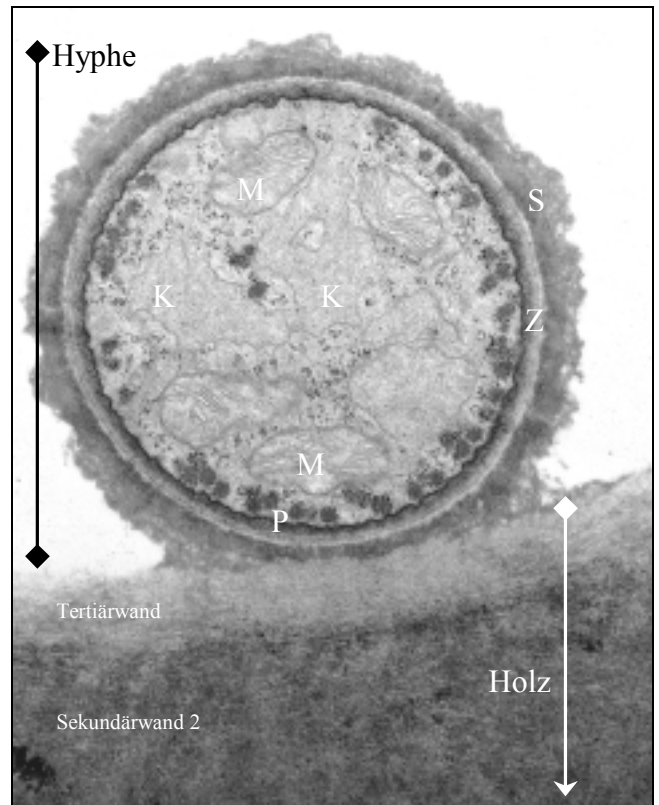


Abb. 7. Elektronenmikroskopische Aufnahme: Hyphe des Weißen Porenschwammes (*Antrodia vaillantii*) im Querschnitt; Durchmesser dieser Hyphe ca. 2 μ m [1000 μ m = 1 mm]; K = Zellkern (Steuerzentrum), M = Mitochondrium (Kraftwerk), P = Plasmalemma (selektive „Türen“), S = Schleimschicht (Schutz), Z = Zellwand (Formgebung).

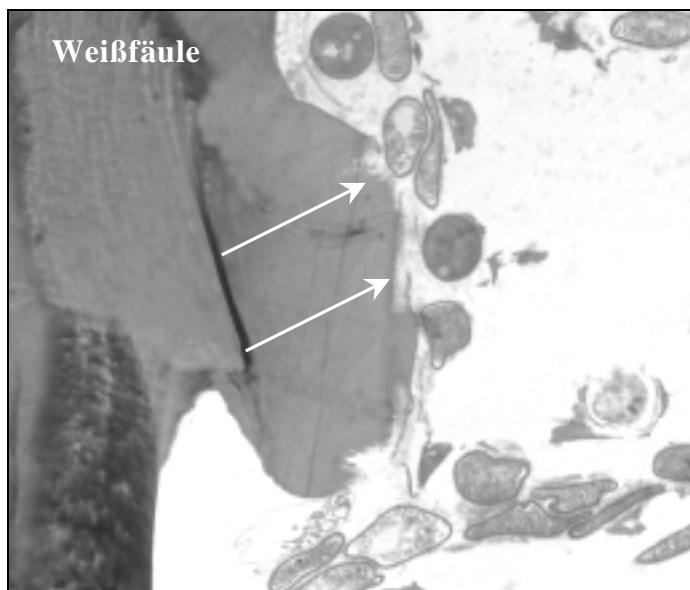


Abb. 8. Weißfäule - Elektronenmikroskopische Aufnahme: Querschnitte von Hyphen des Ausgebreiteten Hausporlings (*Donkioporia expansa*), die im Holz liegen; die Zerstörung des Holzes verläuft streng von außen nach innen; der Abbau ist direkt unterhalb der Hyphen sichtbar (↑); Durchmesser der Hyphen ca. 1,5-3 μ m.

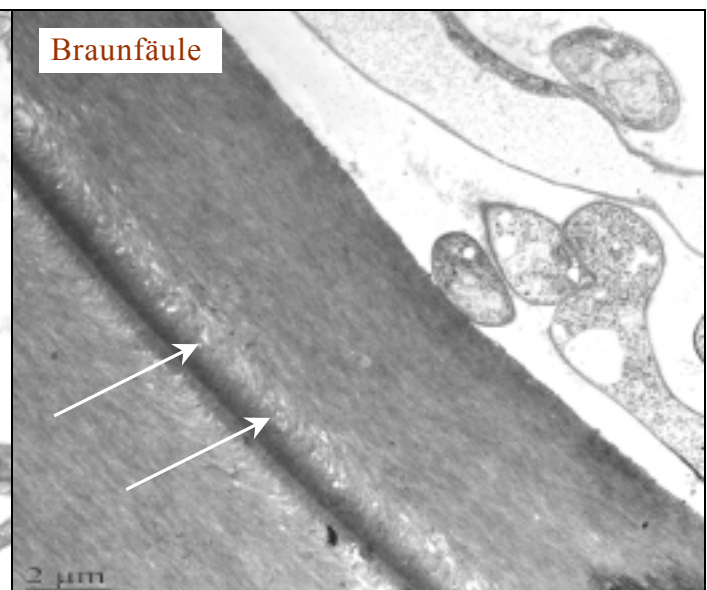


Abb. 9. Braunfäule - Elektronenmikroskopische Aufnahme: Querschnitte von Hyphen des Echten Hausschwammes, die im Holz liegen; der beginnende Holzabbau ist deutlich zu sehen (↑); durch den Holzabbau treten die Schichten des Holzes hervor; Durchmesser der Hyphe ca. 1-3 μ m; Größenvergleich siehe Abb. 11.

Der sichtbare Abbau des Holzes

Die Hyphen der Braunfäulen wachsen meistens im Lumen („Holzporen“, Gefäßen) des Holzes und zersetzen das Holz durch ihre Enzymabgabe von innen heraus. Sie wachsen nur selten direkt in den Zellwänden. Das Holz wird von seiner inneren Oberfläche aus zerstört (Abb. 10 & Abb. 11). Der Holzabbau durch den Hauschwamm und andere Braunfäulepilze beginnt nach elektronenmikroskopischen Untersuchungen in der Primär- und Sekundärwand 1, wohingegen die Mittellamelle, Sekundärwand 2 und Tertiärwand länger unverändert bleiben (Abb. 9). Die Folge ist, dass der Zusammenhalt des Zellverbundes aufgelöst wird. Dies wird der Grund sein, warum die mechanischen Eigenschaften des Holzes schon bei geringen Masseverlusten, die durch Braunfäuleerreger hervorgerufen werden, stark sinken.

Auch die Hyphen der Weißfäulepilze wachsen im Lumen. Der Holzabbau, z. B. durch den Hausporling, unterscheidet sich jedoch von dem oben beschriebenen. Der Abbau schreitet in den Holzzellen streng vom Lumen (innere Oberfläche) zur Mittellamelle fort, wobei die einzelnen Wandschichten meist gleich intensiv nacheinander abgebaut werden (Abb. 8). Die mechanischen Eigenschaften bleiben länger erhalten, weil nicht gleich die gesamte Struktur in Mitleidenschaft gezogen wird. Das Lignin wird durch folgende Enzyme abgebaut: Lignin- und Manganperoxidase, Laccase und Peroxidase (SCHMIDT et al. 1997).

Literatur

- Carlile, M. J.; Watkinson, S. C.; Gooday, G. W. (2001) *The fungi*. Academic press, London
- DIN 68 800 (1990-1992) *Holzschutz*, Teil 1-4, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Erlner, K. (1997) *Alte Holzbauwerke: beurteilen und sanieren*. 2 Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin
- Erlner, K. (2000) *Balkenköpfe – Beurteilung und Sanierung*. Vortrag, 22. Fachtagung Holzschutz des HFN
- Flohr, E. (2004) *Neuerungen im aktuellen WTA-Merkblatt* (im Druck). Vortrag zur 30. Fachtagung Holzschutz des HFN
- Grosser, D. (1985) *Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholz-Schädlinge*. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Grosser, D.; Eichhorn, M.; Grabow, F. (1991) *WTA-Merkblatt 1-2-91 Der Echte Hauschwamm*. Wissenschaftlich-Technischer Arbeitskreis für Denkmalpflege und Bauwerkssanierung e.V. *Bautenschutz + Bausanierung* 14, S. 45-62

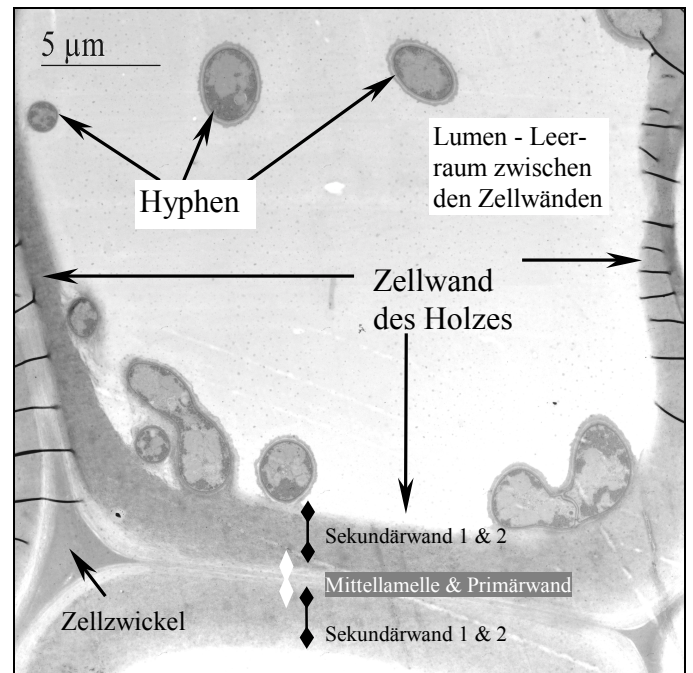


Abb. 10. Elektronenmikroskopische Aufnahme: Hyphen des Weißen Porenschwammes im Kiefersplintholz; die Hyphen wachsen bevorzugt auf der inneren Oberfläche des Holzes (im Lumen); Bohrhyphen sind selten.

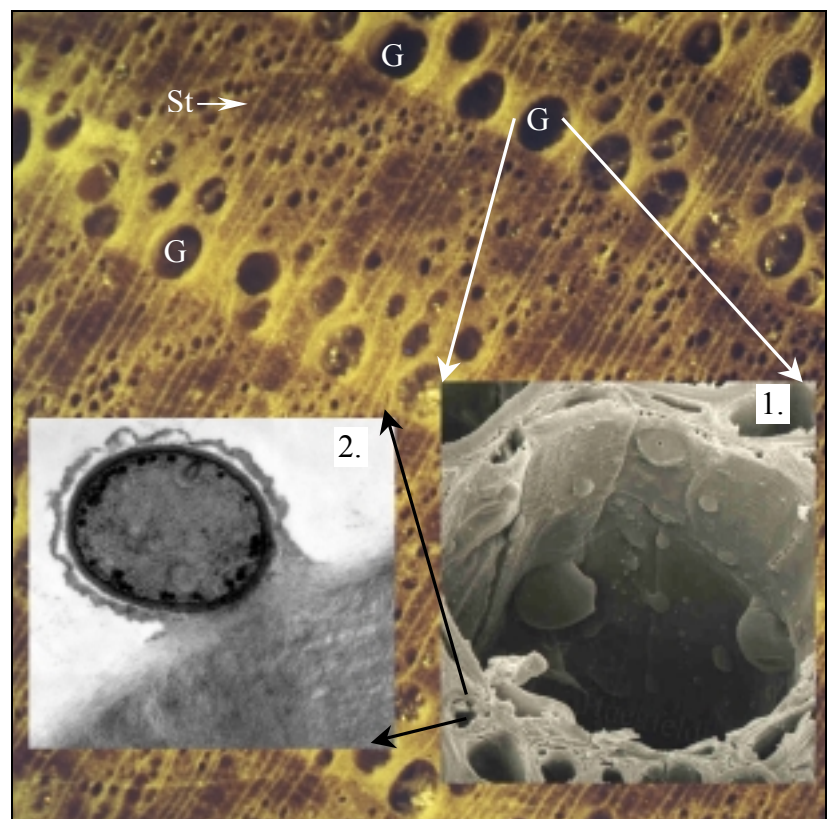


Abb. 11. Größenvergleich der Hyphen im Holz.

Großes Bild: Eichenholz im Lupenbild - die einzelnen Jahrringe, Holzstrahlen (St) und die Gefäße (G) sind erkennbar;

1. Vergrößerung: Ein einzelnes, großes Gefäß mit 0,2 mm Durchmesser (Raster-Elektronenmikroskopie-Aufnahme);
2. Vergrößerung: Ausschnitt einer Holzzellwand mit anliegender Hyphe, 0,002 mm Durchmesser (elektronenmikroskopische Aufnahme).

- Guillitte, O. (1992) Epidemiologia des attaques. 2. Aufl., In: La Mèrulle et autres champignons nuisibles dans les bâtiments. Jardin Botanique National de Belgique Domaine de Bouchout, S. 34-42
- Hankammer, G.; Lorenz, W. (2003) Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden. R. Müller, Paderborn
- Highley, T. L. (1982) Is extracellular hydrogen peroxide involved in cellulose degradation by brown-rot fungi? *Mat. Org.* 17 (3), S. 205-214
- Huckfeldt, T. (2001) Echter Hausschwamm – Informationen zu holzerstörenden Gebäudepilzen. „www.bfafh.de/inst4/44/index.htm“
- Huckfeldt, T. (2003) Ökologie und Cytologie des Echten Hausschwammes (*Serpula lacrymans*) und anderer Hausfäulepilze. Dissertation der Universität Hamburg, Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 213, 208 S.
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O. (2004a) Schlüssel für Strang bildende Hausfäulepilze *Z. f. Mykologie* 71 (1) im Druck
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O. (2004b) Schlüssel zur mikroskopischen Identifizierung von strangbildenden Hausfäulepilzen an braunfaulem Holz. *Schützen & Erhalten* 2004 (1), S. 11-14
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O.; Quader, H. (2005) Ökologische Untersuchungen am Echten Hausschwamm und weiteren Hausfäulepilzen. *Holz als Roh- und Werkstoff* (im Druck)
- Kleist, G.; Seehann, G. (1999) Der Eichenporling, *Donkioporia expansa* - ein wenig bekannter Holzzerstörer in Gebäuden. *Z. Mykologie.* 65 (1), S. 23-32
- Kleist, G. Schmitt, U. (2001) Characterisation of a soft rot-like decay pattern caused by *Coniophora puteana* (Schum.) Karst. in Sapelli wood (*Entandrophragma cylindricum* Sprague). *Holzforschung* 55 (6), S. 573-578
- Lackner, R.; Srebotnik, E.; Messner, K. (1991) Secretion of ligninolytic enzymes by hyphal autolysis of the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Stockholm: IRG/WP 1480, 14 S.
- Liese, J.; Stamer, J. (1934) Vergleichende Versuche über die Zerstörungsintensität einiger wichtiger holzerstörender Pilze und die hierdurch verursachte Festigkeitsminderung des Holzes. *Angew. Bot.* 16 (4), S. 363-372
- Liese, W.; Schmid, R. (1964) Über das Wachstum von Bläuepilzen durch verholzte Zellwände. *Phytopatholog. Zeitschr.* 51, S. 385-393
- Mönck, W. (1995) Schäden an Holzkonstruktionen, Analyse und Behebung. Verlag für Bauwesen, Berlin, 316 S.
- Pegler, D. N. (1991) Taxonomy, identification and recognition of *Serpula lacrymans*. In: Jennings, D. H.; Bravery, A. F. (Hrsg.) *Serpula lacrymans*. Wiley Editional Offices, Chichester, S. 1-8
- Schmidhalter, D. R.; Canevascini, G. (1992) Characterization of the cellulolytic enzyme system from the brown-rot fungus *Coniophora puteana*. *Appl Microbiol. Biotechnol.* 34, S. 431-436
- Schmidt, O. (1994) Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Springer, Berlin, 246 S.
- Schmidt, O.; Schmidt, U.; Moreth-Kebernik, U.; Potsch, T. (1997) Wood decay by the white-rotting basidiomycete *Physisporinus vitreus* from a cooling tower. *Holzforschung* 51 (3), S. 193-200
- Schmidt, O.; Grimm, K.; Moreth, U. (2002b) Molekulare und biologische Charakterisierung von *Gloeophyllum*-Arten in Gebäuden. *Z. Mycol.* 68 (2), S. 141-152
- Schmidt, O.; Moreth, U. (2003) Molecular identity of species and isolates of internal pore fungi *Antrodia* spp. and *Oligoporus placenta*. *Holzforschung* 57 (2), S. 120-126
- Schmidt, O.; Grimm, K.; Moreth, U. (2003) Molecular identity of species and isolates of the *Coniophora* cellar fungi. *Holzforschung* 57, S. 563-571
- Schmidt, O. (2003) Molekulare und physiologische Charakterisierung von Hausschwamm-Arten. *Z. Mycol.* 69 (1), S. 287-298
- Schultze-Dewitz, G. (1966) Beziehungen zwischen der Elastizität und der statischen sowie dynamischen Biegefestigkeit von Kiefernholz nach dem Angriff durch echte holzerstörende Pilze. *Holz Roh- Werkstoff* 24 (10), S. 506-512
- Schwarz, W. H. (2003) Das Cellulosom, Eine Nano-Maschine zum Abbau von Cellulose. *Naturwissensch. Rundschau* 56 (3), S. 121-128
- Seifert, K. (1968) Zur Systematik der Holzfäulen, ihre chemischen und physikalischen Kennzeichen. *Holz Roh- Werkstoff* 26 (6), S. 208-215
- Stade, F. (1904) Die Holzkonstruktion. Verlag von Moritz Schäfer, Leipzig
- Sutter, H-P. (1997) Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen. 3. unveränderte Auflage, Verlag P. Haupt, Bern, 164 S (es soll eine 4. erweiterte Auflage geben).
- Wälchli, O. (1973) Die Widerstandsfähigkeit verschiedener Holzarten gegen Angriffe durch den echten Hausschwamm (*Merulius lacrimans* (Wulf.) Fr.). *Holz Roh- Werkstoff* 31 (3), S. 96-102
- Willeitner, H.; Schwab, E. (1981) Holz-Außenverwendung im Hochbau. Verlagsanstalt A. Koch, Stuttgart, 148 S.

Bildnachweis: alle Aufnahmen stammen, soweit nicht anders gekennzeichnet, von Dr. T. Huckfeldt ©.