

## Der Einfluss von Temperatur, Luftfeuchte und aw-Wert auf den Befall durch Pilze und Insekten an Möbeln, Fachwerk oder Trockenhölzern in Wohnräumen

Dr. Mario Blei

### 1. Allgemeines

Beim Baustoff Holz handelt es sich um einen natürlich gewachsenen Baustoff, der hauptsächlich aus den Stämmen der einheimischen oder europäischen Bäume gewonnen wird.

Insekten wie der Hausbockkäfer können auch luftgetrocknetes Holz für ihre Larvalentwicklung nutzen. Ihre Larven ernähren sich entweder überwiegend vom Splintholz (Hausbockkäfer von Nadel Splintholz) oder auch Kernholz (Klopfkäfer) bzw. Anobien von Splint- und Kernholz bei Nadel- und Laubholz. Durch die Fraßgänge der Larven kann die Holzstruktur und damit die Holzfestigkeit völlig zerstört werden.

Neben z.B. Insekten beeinflussen eine Reihe physikalischer Einflüsse, wie Licht, Temperatur oder Wind die Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Ästhetik von Holzkonstruktionen. Dem muss und/oder kann mit Hilfe biozider Wirkstoffe, wasserabweisender und vor UV-Strahlung schützender Mittel vor allem im Außenbereich entgegengewirkt werden. Insbesondere biozide Wirkstoffe stellen immer eine starke Belastung der Umwelt und des Innenraumes dar. Wie aber die jahrhundertelange Erfahrung des Einsatzes von Holz als Baustoff zeigt, kann ein konsequenter konstruktiver Holzschutz ebenfalls die

Lebenserwartung von Holzkonstruktionen wesentlich erhöhen (Fachwerkhäuser aus dem Mittelalter, 200 Jahre alte überdachte Holzbrücken, Stabkirchen in Norwegen erbaut um 1100 u.Z.).

Angeblich sind bei Holzfeuchten unterhalb 20 % Schäden durch holzerstörende Pilze ausgeschlossen. Die DIN 1052, bzw. die Önorm B 4100 legen zudem 20 % Holzfeuchte als Obergrenze für die Verwendung fest.

Woher die „20 %“ kommen und wofür sie ausschließlich gelten, wird oft verwechselt. Die DIN 68800 **Teil 3: 1990** enthält den folgenden Satz: „Eine Gefahr durch den Befall holzerstörender Pilze liegt vor, wenn die Holzfeuchte 20 M-% langfristig übersteigt.“ Leider bleibt oftmals nur der Zahlenwert in der Erinnerung und wird dann als absoluter Grenzwert verstanden und zieht sich als „Schneeballeffekt“ auch für den Insektenbefall durch die Fachliteratur.

Eine Holzfassade oder eine Dachlattung, die z.B. einmal für 3 – 4 Monate 20 % Holzfeuchte mit 2 – 3 % überschreiten, werden nicht gleich durch holzerstörende Pilze zerstört. Aber wann wird die Holzstruktur durch holzerstörende Pilze angegriffen? Diese zunächst einfache Frage ist durch eine Reihe von Parametern in die eine oder andere Richtung beeinflussbar.



Abb. 1: Bewuchs mit einem Graufilzigen Dachpilz (*Pluteus ephebeus*),

Quelle: Privatinstitut für Innenraumtoxikologie – Dr. Blei GmbH

## 2. Richtlinien und Normen

### 2.1 Vorbeugender chemischer Holzschutz nach DIN 68800 Teil 3

„Holz, das der Gefahr von Bauschäden durch Insekten und/oder der Gefährdung durch Pilze entsprechend der Zuordnung zu einer Gefährdungsklasse ausgesetzt ist, muss zusätzlich zu den baulichen Maßnahmen nach DIN 68800 Teil 2 durch chemische Maßnahmen geschützt werden.“

Bei fehlender Notwendigkeit können chemische Holzschutzmaßnahmen entfallen. Eine fehlende Notwendigkeit besteht, wenn ein Holzbauteil der Gefährdungsklasse 0 (GK 0) zugeordnet werden kann. Bauteile in den Bereichen der Gefährdungsklassen 1 bis 4 können der Gefährdungsklasse 0 zugeordnet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:

#### *Bereich GK 1:*

- Farbkernhölzer mit einem Splintholzanteil unter 10
- Holz in Räumen mit üblichem Wohnklima und gegen Insektenbefall allseitig durch eine geschlossene Bekleidung abgedeckt
- Holz zum Raum hin so offen angeordnet, dass es kontrollierbar bleibt.

#### *Bereich GK 2:*

- Splintfreie Farbkernhölzer der Resistenzklasse 1, 2 oder 3 nach DIN 68 364

#### *Bereich GK 3:*

- Splintfreie Farbkernhölzer der Resistenzklasse 1 oder 2 nach DIN 68 364

#### *Bereich GK 4:*

- Splintfreie Farbkernhölzer der Resistenzklasse 1 nach DIN 68 364

Der chemische Schutz erfolgt mit Holzschutzmitteln, die biozide Wirkstoffe enthalten. Es dürfen nur Mittel mit Prüfzeichen verwendet werden. Das Prüfzeichen enthält das Prüfprädikat und wird vom Institut für Bautechnik, Berlin vergeben.

Beim Schutz von nichttragendem und nicht maßhaltigem Holz ohne statische Funktion sollte im Einzelfall geprüft werden, ob chemischer Holzschutz erforderlich ist. Maßgebend hierfür sind:

- Ausmaß der Gefährdung
- Wert und Bedeutung der Holzbauteile und deren Werterhaltung
- Gewichtung von gesundheitlichen / umweltbezogenen Gesichtspunkten chemischer Holzschutzmaßnahmen



Abb. 2: Fraßmehl nach Anobienbefall im Mobiliar bei einer Holzfeuchte von 14 %.

Vor Anwendung von Holzschutzmitteln ist zu prüfen, inwieweit diese durch konstruktive Holzschutzmaßnahmen vermieden werden können. Für die Zuordnung des Holzes bzw. von Holzbauteilen zu den Gefährdungsklassen gilt DIN 68 800 Teil 3 Abs. 2. Zur Behandlung nichttragender Hölzer kommen RAL-Holzschutzmittel zum Einsatz. Sie sind wirksam gegen Bläue, Fäulnis und Insektenlarven. Es sind also amtlich geprüfte Mittel einzusetzen. Die Überwachung erfolgt durch die Gütegemeinschaft Holzschutzmittel e.V.

Beim Schutz von nichttragendem, maßhaltigem Holz (Außenfenster und Außentüren in der Gefährdungsklasse 3) sollte auf einen insektiziden Schutz verzichtet werden, da eine Gefahr von Schäden durch Insekten und im allgemeinen nicht gegeben ist.

Erforderlich ist ein chemischer Holzschutz gegen Bläue und holzerstörende Pilze. Ausnahmen hiervon regelt DIN 68800 Teil 3 Abs. 12. Wenn nachträglich ein dauerhaft wirksamer Oberflächenschutz gewährleistet ist, kann eine Einstufung in die Gefährdungsklasse 2 erfolgen (DIN 68800 Teil 3 Abs. 12).

### 2.2 Baulich-konstruktiver Holzschutz

Die wesentliche Ursache für holzerstörende Prozesse und Reduzierung der Festigkeiten liegt somit in einer unzutraglichen Veränderung der Holzfeuchte. Dem kann man mit Hilfe chemischer Präparate zum Abtöten von Insekten und Pilzen oder wasserabweisenden Mitteln entgegenwirken und nimmt dabei eine hohe Belastung der Umwelt in Kauf, oder es wird konsequent der bauliche oder auch konstruktive Holzschutz angewendet. Wie die zum Teil jahrhundertalten Fachwerkhäuser zeigen, kann auch diese Methode sehr effektiv sein. Nach DIN 1052:2004-08 ist dem baulich-konstruktiven Holzschutz der Vorrang vor dem chemischen Holzschutz einzuräumen (Abs. 6.2 in der DIN).

### **3. Einflussfaktoren auf einen möglichen Befall durch holzerstörende Organismen**

#### **3.1 Materialqualität**

Die Resistenz des Holzes gegenüber holzerstörenden Organismen wird durch eine Vielzahl von Parametern, die im Folgenden beschrieben werden, bestimmt. Das Kernholz vieler Holzarten enthält extrahierbare Verbindungen, die die Dauerhaftigkeit gegenüber Pilzen, Insekten und Mikroorganismen erhöhen (Fengel und Wegener 1989). Splintholz und wenig dauerhafte Hölzer verfügen in der Regel nur über wenige Extraktstoffe. Extraktstoffe können biozid oder hemmend wirken oder die Feuchtwchselzeiten des Holzes beeinflussen z.B. Harze, Gummen oder Lignane, (Géradin et al. 2004, Stirling und Morris 2006). Mehr als 10000 verschiedene Verbindungen sind als Extraktstoffe von Pflanzen beschrieben (Duchesne et al. 1992). Aufgrund dieser großen Bandbreite lässt sich der Einfluss bestimmter Extraktstoffe nur schwer quantifizieren und der Einfluss aller in einer Holzart vorhandenen Extraktstoffe muss in seiner Gesamtheit betrachtet werden.

#### **3.2 Fällzeitpunkt und Mondphasen**

Ein möglicher Einfluss des Fällzeitpunkts in Kombination mit der Mondphase auf die Resistenz gegenüber holzerstörenden Organismen sowie weiteren Eigenschaften des Holzes wird bereits seit vielen Jahren diskutiert (Wany und Krajewski 1984, Clausnitzer 1990, Bues und Triebel 2000, Teischinger und Fellner 2000, Zürcher 2000). In Laborprüfungen wies wintergefälltes Kiefernholz zwar eine geringfügig höhere Resistenz gegen verschiedene holzerstörende Pilze als sommergefälltes Holz auf (Wany und Krajewski 1984), ein signifikanter Einfluss der Mondphase ließ sich aber nicht feststellen. Boutelje et al. (1986) fanden hingegen keine Unterschiede in der Resistenz von winter- und sommergefällter Kiefer und Fichte. Es muss somit streng zwischen dem Fällzeitpunkt und den in der jeweiligen Jahreszeit vorherrschenden Lagerungsbedingungen unterschieden werden. Eine geringere Pilzaktivität im Winter beeinflusst die Dauerhaftigkeit des Holzes positiv, ist aber nicht als Komponente der materialeigenen Resistenz des Holzes zu sehen.

Um den Einsatz von für den Menschen und seine Umwelt gefährlichen Substanzen zu verringern, wurden in den vergangenen Jahren verschiedene biozidfreie Holzvergiftungsprozesse entwickelt und etabliert (u.a. Burmester 1970, Tjeerdsma et al. 1998, Sailer et al. 2000, Rapp et al. 2001, 2005, Kamdem et al. 2002, Welzbacher

und Rapp 2003, Westin et al. 2004). Einige Hydrophobierungs- und Modifizierungsprozesse ermöglichen eine Verbesserung der Resistenz des Holzes um mindestens den Faktor fünf.

Beschichtungen reduzieren die Photodegradation des Holzes durch die Absorption von ultraviolettem Licht. Darüber hinaus wird die Wasseraufnahme des Holzes reduziert, wodurch ein Pilzangriff verhindert wird. Die Wirksamkeit von Anstrichen ist sehr unterschiedlich und hängt stark von den getroffenen Instandhaltungsmaßnahmen ab (Feist 1982). So wird nur durch opakpigmentierte Beschichtungen UV-Strahlung effektiv absorbiert und nur durch ausreichend dicke Anstriche das Holz vor Feuchtigkeit geschützt (Kropf et al. 1994). Werden notwendige Pflegemaßnahmen nicht durchgeführt, wird die holzschützende Wirkung von Beschichtungen ins Gegenteil verkehrt: Bei Beschädigung einer Beschichtung dringt Wasser über Fehlstellen in das Holz ein, während eine Wiederaustrocknung durch die Beschichtung erschwert ist, so dass es im Holz zu einer Feuchteanreicherung kommt (Derbyshire und Carey 2001).

#### **3.3 Nährstoffe im Holz**

Die Verfügbarkeit von Nährstoffen kann zu einem limitierenden Faktor für das Wachstum von Pilzen werden. Holzverfärbende Pilze nutzen Zucker, Stärke und Stickstoffverbindungen als Kohlenstoffquelle. Während Schimmelpilze nur wenige Millimeter in das Holz eindringen, besiedeln Bläuepilze teilweise das gesamte nährstoffreiche Splintholzsubstrat (Schmidt 2006). Holzzerstörende Pilze ernähren sich vorwiegend von den Zellwandkomponenten. Das Pilzwachstum kann von der Verfügbarkeit gelöster Zucker (Terziev und Nilsson 1999), gelösten Stickstoffs (Schmidt 2006) und einiger Spurenelemente und Vitamine (Schwantes 1996) bestimmt werden. Es ist davon auszugehen, dass bei jeder möglichen Nährstoffkombination im Holz eine oder mehrere Arten in der Lage sind, das Holz zu befallen. Liegt ein höheres Nährstoffangebot, z.B. im Erdkontakt durch Mineralien oder bakteriell synthetisierte Vitamine vor, lässt sich ein Angriff durch weitere Arten sowie eine erhöhte Abbauproduktivität erwarten.

Die kürzere Gebrauchsdauer von Holz im Erdkontakt ist aber nicht nur auf ein erhöhtes Nährstoffangebot zurückzuführen, sondern vielmehr auf die höheren und konstanteren Feuchtebedingungen. Da Pilze auch ohne zusätzliche Nährstoffquelle Holz abbauen können, ist der Einfluss von Nährstoffen nicht überzubewerten.

### 3.4 pH-Wert

Die meisten Holzarten weisen pH-Werte zwischen 3,3 und 6,4 auf, wobei Kernholz in der Regel einen geringeren pH-Wert als Splintholz hat (Wagenführ und Schreiber 1985, Fengel und Wegener 1989). Holzzerstörende Pilze tolerieren pH-Werte zwischen 2 und 8, wobei viele Basidiomyceten Werte zwischen 5 und 6 bevorzugen (Bavendamm 1974), Ascomyceten und Deuteromyceten jedoch toleranter sind (Schmidt 2006). Somit erscheint der Einfluss des pH-Wertes auf den pilzlichen Holzabbau und die Gebrauchsdauer von Holz, abgesehen von extrem sauren und extrem alkalischen Bedingungen, vernachlässigbar gering.

### 3.5 Gleichgewichts-Feuchte

Materialien, die Wasser aufnehmen, zurückhalten oder abgeben, bezeichnet man als hygroskopisch. Hygroskopische Materialien sind stets bestrebt, mit der umgebenden Luft in ein Feuchtegleichgewicht zu kommen. Das freie Wasser in einem hygroskopischen Material bewirkt eine Dampfdruckerhöhung auf der Materialoberfläche. Wenn der Wasserdampfdruck auf der Materialoberfläche und der Wasserdampfdruck der umgebenden Atmosphäre gleich ist, spricht man von Gleichgewichts-Feuchte. Jeder Unterschied zwischen diesen Drücken (?) bewirkt einen Wasseraustausch.

### 3.6 aw-Wert

Der aw-Wert gibt Aufschluss über das chemisch nicht gebundene Wasser. Die Messung beruht auf der Gleichgewichts-Feuchte. In einem abgeschlossenen Raum mit einer anteilmäßig geringeren Menge Luft als Feststoff bestimmt das im Feststoff enthaltene freie Wasser die relative Feuchte der umgebenden Luft. Die Wasseraktivität (aw-Wert) ist praktisch gleich der Gleichgewichts-Feuchte in einem abgeschlossenen Raum. Sie wird aber nicht in Bereiche 0 bis 100 % rF angegeben, sondern von 0 bis 1 aw. Dabei gilt  $aw = 0$  für wasserfreie Stoffe,  $aw = 1$  für reines Wasser. Da die Wasseraktivität temperaturabhängig ist, muss stets die Bezugstemperatur angegeben werden.

### 3.7 Wassergehalt

Der Wassergehalt ist die Menge Wasser eines Materials bezogen auf dessen Trockensubstanz. Die Einheit wird in Gewichtsprozent (Gew%) angegeben.

### 3.8 Holzfeuchte

Die Holzfeuchte, die von Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und der Wasseraufnahme durch Erdkontakt oder Lecka-

gen abhängt, ist einer der entscheidendsten Abbaufaktoren. Ein eventuelles Pilzwachstum hängt sehr eng mit der Möglichkeit der Wasseraufnahme für den Pilz zusammen. Pilzmycel ist nicht in der Lage, Wasser zu absorbieren, das in der Zellwand gebunden ist, so dass die minimale Holzfeuchte für pilzlichen Holzabbau leicht über Fasersättigung liegt (Schmidt 2006). Bei geringeren Feuchten werden die Enzyme, die der Pilz aussendet und die für den Abbau der Zellwandbestandteile verantwortlich sind, nicht transportiert und bleiben somit inaktiv. Ein Maß für die den Pilzen zur Verfügung stehende Feuchte ist der relative Dampfdruck im Substrat, der als Wasseraktivität  $aw$  bezeichnet wird. Die Wasseraktivität hängt ab von der chemischen Zusammensetzung, der Temperatur und dem pH-Wert des Substrates.

Das  $aw$ -Minimum der meisten holzzerstörenden Basidiomyceten beträgt 0,97. Unterhalb  $aw = 0,60$  sind selbst xerotolerante Schimmelarten nicht mehr in der Lage, zu wachsen (Schmidt 2006).

Viitanen (1994) und Schwantes (1996) berichten über den Zusammenhang zwischen Feuchteminima und der Temperatur: „Je stärker die Temperatur vom Optimum abweicht, desto höher ist die für das Pilzwachstum notwendige Wasseraktivität“.

Für praktische Zwecke werden Minima und Maxima für pilzliches Wachstum als Holzfeuchte in % ausgedrückt. Ammer (1963) gibt das Holzfeuchteminimum mit  $u=30$  % an. Das Optimum für die meisten relevanten Basidiomyceten liegt zwischen 40 und 70 % (Ammer 1964, Rypáček 1966, Wälchli 1980, Viitanen und Ritschkoff 1991, Huckfeldt et al. 2005).

Eine Ausnahme stellt *Serpula lacrymans* (Wulfen: Fr.) dar, der in der Lage ist, Wasser mittels seiner Stränge über längere Strecken zum Ort des enzymatischen Abbaus zu transportieren (Wälchli 1980, Grosser 1985). Somit kann *S. lacrymans* Holz mit einer Feuchte unter 20 % bewachsen, wenn eine externe Feuchtequelle vorhanden ist. Experimentell nachgewiesen ist jedoch nur, dass die Stränge von *S. lacrymans* zur Leitung von Nährstoffen (Jennings 1987) dienen und nicht zum Wassertransport (Ridout 2000, Schmidt 2007). Die obere Feuchtegrenze für die meisten Basidiomyceten liegt bei  $u = 90$  % (Bavendamm 1974), einige Pilze, z.B. *Gloeophyllum abietinum* (Tannenblätling) (Bull.: Fr.) P. Karsten, weisen aber auch höhere Feuchtemaxima ( $u > 200$  %) auf (Huckfeldt et al. 2005, Huckfeldt und Schmid 2006).

bei einer relativen Luftfeuchte in %:	Wert für die jeweilige Holzausgleichsfeuchte (Masse%):						
90 %	21,1	21,0	21,0	20,8	20,0	19,8	19,3
85 %	18,1	18,0	18,0	17,9	17,5	17,1	16,9
80 %	16,2	16,0	16,0	15,8	15,5	15,1	14,9
75 %	14,7	14,5	14,3	14,0	13,9	13,5	13,2
70 %	13,2	13,1	13,0	12,8	12,4	12,1	11,8
65 %	12,0	12,0	11,8	11,5	11,2	11,0	10,7
60 %	11,0	10,9	10,8	10,5	10,3	10,0	9,7
55 %	10,1	10,0	9,9	9,7	9,4	9,1	8,8
50 %	9,4	9,2	9,0	8,9	8,6	8,4	8,0
45 %	8,6	8,4	8,3	8,1	7,9	7,5	7,1
40 %	7,8	7,7	7,5	7,3	7,0	6,6	6,3
35 %	7,0	6,9	6,7	6,4	6,2	5,8	5,5
30 %	6,2	6,1	5,9	5,6	5,3	5,0	4,7
25 %	5,4	5,3	5,0	4,8	4,5	4,2	3,8
und einer Temperatur in °C:	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°

Tabelle 1: Abhängigkeit der Holzausgleichsfeuchte von der relativen Luftfeuchte und der Temperatur (Quelle: R. Keylwert und Angaben des U.S. Forest Products Laboratory, Madison 1951)

Ein sehr breites Feuchteoptimum weisen Bläuepilze ( $u=40 - 130\%$ ) und Rotstreifepilze ( $u=50 - 120\%$ ) auf (Schuhmacher und Schulz 1992, Schmidt 2006). Die obere Feuchtgrenze ist als untere Grenze des notwendigen Sauerstoffgehaltes anzusehen. Das Überleben und Wachstum von Pilzen ohne Sauerstoff ist zeitlich begrenzt: *Coniophora puteana* (Braune Keller- und Warzen Schwamm) und *S. lacrymans* (Echte Hausschwamm) überlebten ohne Sauerstoff zwei bis sieben Tage (Bavendam 1936), *Laetiporus sulphureus* (Gemeine Schwefelporling) (Bull.: Fr.) Murrill mehr als zwei Jahre (Scheffer 1986).

Rypáček (1966) gibt als minimalen Luftgehalt für pilzlichen Abbau 10 – 20 Vol % an. Zur Verhinderung von Lagerschäden durch Pilze wird deshalb Rundholz durch

Wasserlagerung oder Beregnung so feucht gehalten, dass nicht genügend Luft in das Holz dringen kann (Liese und Peek 1987). Ein ähnlicher Effekt tritt bei der Lagerung von Rundholz in geschlossenen Folienzelten auf, die zu einer vollständigen Veratmung des Luftsauerstoffs durch noch lebende Parenchymzellen führt (Metzeler et al. 1993).

Moderfäulepilze sind in der Lage, Holz auch im wasser-gesättigten Zustand, z.B. in Kühltürmen, anzugreifen, weil das Wasser durch den Sprinklereffekt für diese Pilzgruppe ausreichend mit Sauerstoff angereichert wird (Schmidt 2006). Die besondere Bedeutung des Abbau-faktors Holzfeuchte wurde in zahlreichen Studien zur Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten heraus-gestellt (u.a. Viitanen und Ritschkoff 1991, Rapp et al. 2000, Rydell et al. 2005) und ist in verschiedenen europä-ischen Normen verankert (u.a. EN 335-1, 2006, EN 335-2, 2006, EN 460, 1994).

### 3.9 Zeit

Die meisten Versuche zur Bestimmung der Auskeimungs-zeit bzw. der Wachstumsgeschwindigkeit wurden unter stationären Bedingungen durchgeführt. Das mag für eini-ge Industriezweige genügen (z.B. Konservierung von Le-bensmitteln). Im Bauwesen unterliegen Temperatur und relative Luftfeuchte aber regelmäßigen Schwankungen. Aus bauphysikalischer Sicht ist es daher erforderlich, an-geben zu können, welche Feuchtezustände wie lang und wie häufig auf ein Bauteil (z.B. eine Wandinnenoberflä-che) einwirken dürfen, bevor eine Schimmelpilzbildung oder ein Befall durch holzerstörende Organismen auf-tritt.

### 4. Pilzbefall

Auch Pilzbefall ist bautechnisch unkritisch, solange er zu keinem sicherheitsrelevanten Schaden führen kann. Das bedeutet: Solange die Holzfeuchte nur dazu führt, dass eine Pilzspore zur Hyphe auskeimen, aber noch keinen Schaden am Holz verursachen kann, wird sie bei anschließender Unterschreitung dieser Feuchten das Wachstum wieder einstellen.“ Damit wären zwei Dinge wichtig:

- Der Grenzwert von 20 M-% ist mit großen Sicher-heiten versehen und bezieht sich auf die punktuelle Kontrolle der Holzfeuchte mittels elektrischer Wider-standsmessung.
- Langfristig bedeutet 6 Monate.

Diese Aussagen beziehen sich jedoch nur auf die bau-technischen Aspekte, hygienische, mögliche die vertrag-lichen Vereinbarungen berührende oder versicherungs-

technische Konsequenzen können weitreichende Folgen im Falle eines Auftretens haben.

Es wird oft von minimalen und optimalen Feuchte- und Temperaturbedingungen der einzelnen Pilzarten geschrieben (Huckfeldt, Schmidt 2005). Auf jede Pilzart und deren Lebensbedingungen ist im Schadensfall einzugehen.

„Allgemein ist ein Wachstum holzerstörender Pilze erst möglich, wenn sich freies Wasser in den Zellhohlräumen befindet, d.h. wenn die Holzfeuchte  $u$  oberhalb des Fasersättigungsbereiches liegt, also mehr als etwa  $u = 30\%$  (grober Mittelwert für die einheimischen Nadelhölzer) beträgt. Fasersättigung stellt sich bei der jeweils vorhandenen Temperatur ein, wenn das Holz langfristig einer relativen Luftfeuchte von  $100\%$  ausgesetzt ist. Freies Wasser bildet sich – abgesehen vom frischen Zustand des Holzes dann, wenn ein zusätzliches Wasserangebot vorliegt, z.B. durch Beregnung oder durch Tauwasserbildung im Querschnitt. Da aber – ebenso wie die übrigen Eigenschaften des Holzes – auch die Holzfeuchte innerhalb desselben Holzteils stark streuen kann, wird aus Sicherheitsgründen unterstellt, dass die Holzfeuchte

$u \leq 30\%$  an jeder Stelle als eingehalten gilt, wenn die Einzelmessung (z.B. mit Einschlagelektrode und möglichst an ungünstig erscheinender Stelle, hier mit  $u_1$  bezeichnet) einen Wert  $u_1 \leq 20\%$  ergibt. Pilzwachstum *holzerstörender Pilze* wird vermieden, wenn dieser Zustand *dauerhaft* gegeben ist.

Bereits 1991 stellt Viitanen bei Laborversuchen fest, dass holzerstörende Pilze (Braunfäule wie Echter Hausschwamm, Kellerschwamm etc.) eine „Aktivierungsfeuchte“ benötigen, die sich bei  $95\%$  rel. Luftfeuchte einstellt. Umgerechnet in Holzfeuchte bedeutet dies bei einheimischen Bauhölzern ca.  $25\text{--}28\%$  (je nach Literatur). Die Aktivierungsschwelle kann damit erklärt werden, dass eine erhöhte Feuchte zur Auskeimung der Pilzsporen erforderlich ist. Erst danach bilden sich sogenannte Hyphen, die das Holz abbauen. Je nach Temperatur dauert es unterschiedlich lang bis der Pilz wächst. So beginnt das Wachstum der holzerstörenden Pilze bei beispielsweise  $10\text{ }^\circ\text{C}$  und  $95\%$  rel. Luftfeuchte erst nach ca. drei Monaten ( $\sim 85$  Tage). Bei höheren Temperaturen ( $20\text{ }^\circ\text{C}$ ) halbiert sich die Zeit bis zum Befall. Somit ist die Gefährdung im Winter (Dezember bis Februar in



Abb. 3: Befallenes Holz und Fruchtkörper eines Seitlings hinter einer Fußbodenleiste (*Pleurotus* spp. – Familie *Lentinaceae*)

Quelle: Privatinstitut für Innenraumtoxikologie – Dr. Blei)

der Regel  $\leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) so gering, dass die Dauer der Klimaeinwirkung meist nicht ausreicht, um eine Aktivierung auszulösen. Im Sommer hingegen können schon wenige Wochen mit Holzfeuchten, die sich bei  $\geq 97 \text{ } \%$  rel. F. einstellen, genügen, um den Pilz keimen zu lassen. Haben die holzerstörenden Pilze erst einmal „Fuß gefasst“, dann wachsen sie auch bei geringeren Feuchten weiter. Auch hier hängt das Wachstum im Wesentlichen von der Temperatur ab. Dabei findet ein mehr oder weniger schneller Masseabbau des Holzes statt, der in % ausgedrückt wird.

## 5. Schimmelpilzbefall

Zöld (1990) benennt in die Tagesstundenzahl, in der das Schimmelpilzwachstum bei Temperaturen unter  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und relativen Feuchten von über  $75 \text{ } \%$  beginnt. Als ungefährdeter Bereich wird derjenige bezeichnet, an dem, über einen langen Zeitraum, nicht länger als 8 bis 12 Stunden täglich die relative Feuchte von  $75 \text{ } \%$  oder an dem nicht mehr als 12 Stunden an drei aufeinanderfolgenden Tagen die Grenze von  $75 \text{ } \%$  relativer Feuchte überschritten wird. Als gefährdend wird ein Zustand beschrieben, der über einen Zeitraum von mehr als 12 Stunden an fünf aufeinanderfolgenden Tagen diese Grenze überschreitet.

Gleiche oder etwas geringere Werte für die täglich erforderliche Zeit einer Überschreitung von  $75$  bzw.  $80 \text{ } \%$  relative Feuchte geben Cziesielski (1999) und Richter (1999) an. Allerdings wird immer darauf hingewiesen, dass die genannte Bedingung für die relative Feuchte am Wachstumsort über fünf aufeinanderfolgenden Tagen anhalten muss. – Gemäß Definition des TOW-Wertes (Time of wetness, Stunden hoher Feuchte pro Zeiteinheit) von Adan (1994) stellt sich, wenn zunächst auch verzögert, Wachstum ein, wenn eine relative Feuchte von wenigstens  $80 \text{ } \%$  an vier Stunden täglich erreicht wird. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass je nach hygrothermischen Randbedingungen materialspezifisch unterschiedliche Zeitdauern zur Entwicklung von Schimmelpilzen erforderlich sind. Dies bedeutet, dass das zu entwickelnde Rechenverfahren zur Vorhersage der Schimmelpilzbildung neben dem Einfluss verschiedener Substrate von Baustoffen und Verschmutzungen auch in stationäre Randbedingungen berücksichtigen muss.

## 6. Insektenbefall

Befall durch holzerstörende Insekten erfolgt auch am trockenen Holz. Die Feuchteoptima sind jedoch unterschiedlich. Zusätzlich muss beachtet werden, ob die Insekten überhaupt in der Lage sind, das Holz für einen Befall zu finden: So können sich Hausbocklarven in

technisch getrocknetem Holz zwar gut entwickeln. Die Eiablage, somit der Beginn des Befalls, ist aber weniger wahrscheinlich, da sich die Käfer am Geruch des Holzes orientieren. Aufgrund der Erhitzung sind leicht flüchtige Komponenten bereits ausgegast, so dass technisch getrocknete Hölzer seltener zur Eiablage aufgesucht werden (Schumacher, Wegner 2007). Schadensfälle sind aus der Praxis bisher nicht berichtet worden (Radovic 2009).



Abb. 4: Ausfluglöcher Gemeiner Nagekäfer (*Anobium punctatum*)

Durch die verborgene Tätigkeit der Larven vom Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus*), die ca.  $6 - 8 \text{ mm}$  dicken Gänge und Ausfluglöcher hinterlassen, können Holzbauteile völlig zerstört werden. Typisch ist das Stehenbleiben einer papierdünnen Holzoberfläche, die von einzelnen Ausfluglöchern bezeichnet wird. Zu ihrer Entwicklung benötigen die Insekten, die den weitaus überwiegenden Teil ihres Lebens von ca.  $5 - 10$  Jahren als holzerstörende Larve verbringen, eine Temperatur und Holzfeuchte, wie sie allgemein in Dachstühlen herrscht, sowie einen ausreichenden Eiweißgehalt des Holzes. Mit Zunehmen dem Alter des Holzes wird die Entstehung eines intensiven Befalls daher unwahrscheinlicher, aber nicht ausgeschlossen. Die in der Literatur genannten Zeiträume von  $15 - 60$  Jahren, in denen das Holz besonders reizvoll für die Insekten ist, sind zwar durch Erfahrungen belegt, aber auch wesentlich ältere Hölzer können, vor allem nach Umbauten, befallen werden.

Dabei scheint vor allem der Geruch des Holzes für das Insekt entscheidend zu sein, um das Material für die Eiablage aufzufinden. Hausbockkäfer treten in geeigneten Klimazonen weltweit auf.

Holzwürmer (*Anobium punctatum*) ernähren sich als Larven über  $1 - 3$  Jahre vom Holz, bevor sie im Mai-Juni als Käfer ausschlüpfen, die typischen  $1 - 2 \text{ mm}$  großen Ausfluglöcher hinterlassen und nach der Eiablage abster-

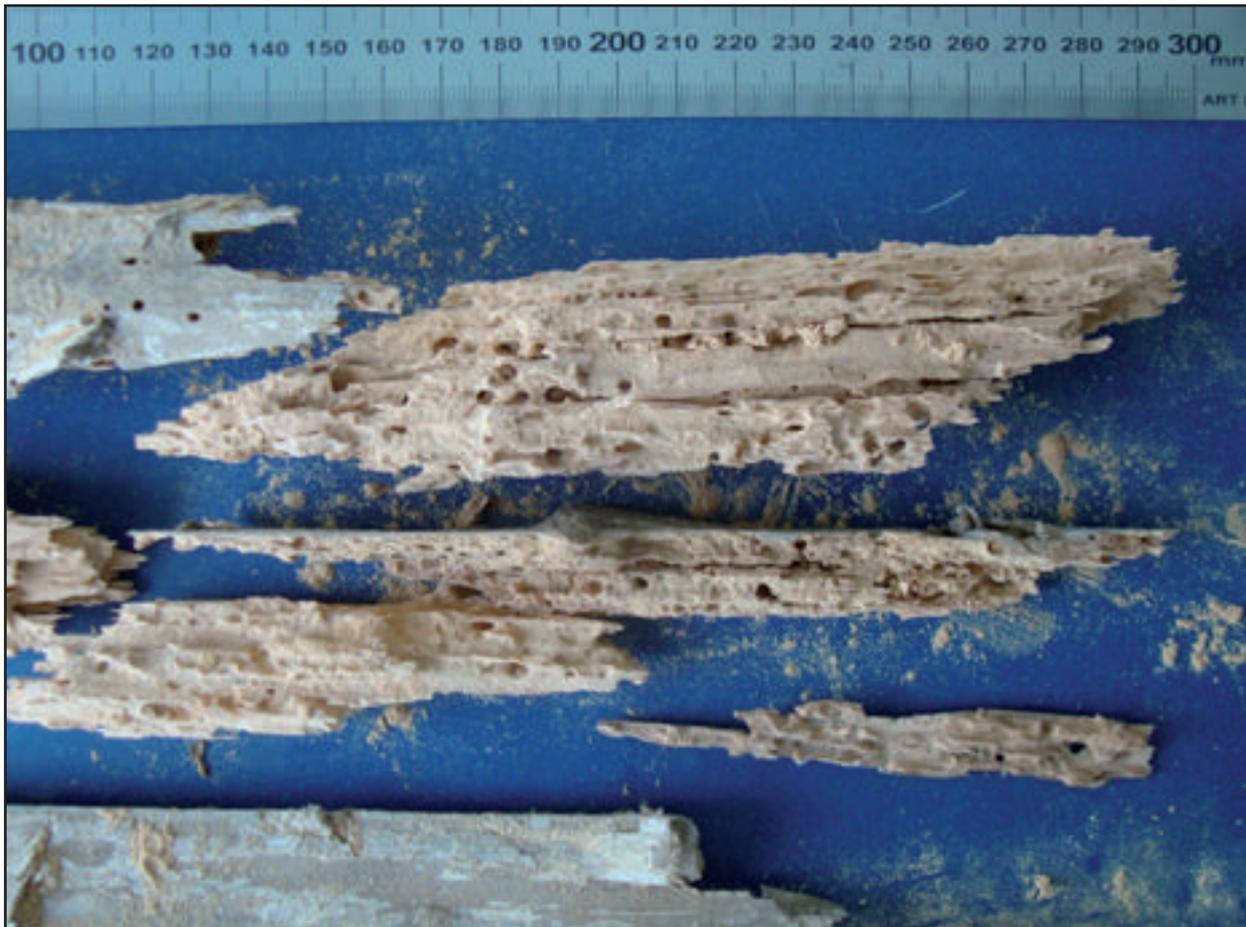


Abb. 5: Holz mit massivem Befall durch holzerstörende Insekten (Quelle: Privatinstitut für Innenraumtoxikologie – Dr. Blei GmbH)

ben. Sie benötigen zu Ihrer Ernährung vorzugsweise Nadelholz (Fichte, Kiefer), können aber auch im nicht dauerhaften Splintholz von Laubhölzern leben. Insgesamt benötigen sie eine erhöhte Holzfeuchte, die typisch in Kellern oder nicht beheizten Gebäuden wie Kirchen oder Scheunen anzutreffen ist. In modernen, zentralbeheizten Gebäuden oder intakten Dächern finden sie daher kaum Entwicklungsmöglichkeiten. Die von ihnen an Konstruktionshölzern verursachten Schäden sind verhältnismäßig gering. Erst nach vielen Jahren oder Jahrzehnten werden Bauteile in ihrer Funktion beeinträchtigt. Größere Schäden entstehen dagegen an Möbeln und Gebrauchsgegenständen, die partiell zerstört werden können. Auch Nagekäfer sind weltweit vorhanden und anspruchsloser als Hausböcke.

### 7. Sonderfall Kaminholzlagerung

Es geht kaum Gefahr davon aus, dass eingeschleppte Käfer im Brennholz auch das Holz im Haus angreifen, da in den überwiegenden Fällen diese Käfer ein anderes Holzmileu benötigen. Die aus dem Wald eingebrachten Holzschädlinge benötigen meist eine relativ hohe Holz-

feuchtigkeit und oftmals auch Rinde am Holz, um sich zu entwickeln. Trocknet das Brennholz im Zuge der Lagerung aus, können zwar die Käfer noch schlüpfen und ausfliegen, aber das trockene Holz nicht wieder neu befallen.

Gleiches gilt auch für Insektenlarven im Brennholz, die beim Holzhacken gesichtet werden. Sie sind typische Vertreter oben genannter Frischholzinsekten, die nur Holz mit hoher Feuchtigkeit und Rinde befallen. Die angesprochenen Larven leben direkt unter der Rinde im Holz und fressen dann einen so genannten „Hakengang“

Eine biozide Behandlung des Befalls, egal ob aktiv oder alt ist in keinem Fall notwendig.

Gefährlich werden können Insekten, aber auch holzerstörende Pilze im Brennholz allerdings dann, wenn das Kaminholz über längere Zeit im schlecht gelüfteten Keller gelagert wird und das so gelagerte Holz seine Holzfeuchtigkeit behält. Hier könnte zum Beispiel die Möglichkeit bestehen, dass eingeschleppte Vertreter des „gemeinen Nagekäfers“ oder aber auch viele Vertreter der Hausfäulepilze auf direkt anschließendes Holz des

Gebäudes übergehen. Der Holzwurm im Brennholz befallt gerne Holz mit einer Feuchtigkeit von über 12 % und kühler Umgebungstemperatur. Das passt sehr gut zu abgelagertem Kaminholz in ungeheizten Räumen. Hölzer in regelmäßig beheizten Räumen können hier allerdings nicht befallen werden, da die Holzfeuchte dort oft unter 12 % abfällt und die Temperaturen nicht so ganz dem Geschmack der Holzwürmer entsprechen.

Die eigentlichen Holzzerstörer unter den Insekten sind immer die Larven der hier aufgeführten Käfer. Die Larven der verschiedenen Käferarten ernähren sich von den

Inhaltsstoffen im Holz, verpuppen sich dann (meist nach ein bis zwei Jahren) und fliegen dann als voll entwickelte Insekten aus, um sich zu paaren und wieder neue Eier im Holz abzulegen. Nach der Paarung bzw. dem Eierlegen sterben die Käfer dann recht schnell ab. Der Lebenszyklus kann durch die Wärme am Kaminofen allerdings auch beschleunigt werden, sollte dort gelagertes Kaminholz längere Zeit lagern. So kann es vorkommen, dass mitten im Winter die Käfer in großer Anzahl schlüpfen.

## Literatur

- Adan, O. (1994): On the fungal defacement of interior finishes. Dissertation, University of Technology, Eindhoven (1994). Bauphysik, Ernst und Sohn Verlag, Berlin 2009
- Ammer, U. (1963): Untersuchungen über das Wachstum von Rotstreifepilzen in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 82: 360 – 391
- Bavendamm, W., (1974): Die Holzschäden und ihre Verhütung. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- Borsch-Laaks (2011): Zur Schadensanfälligkeit von Innendämmungen. In: Rainer Oswald (Hg.): Aachener Bausachverständigentage 2010, Wiesbaden (Vieweg+Teubner) 2011.
- Boutelje, J., Nilsson T., Rasmussen, S., (1986): An analysis of the effects of some factors on the natural durability of pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea abies* Karst.). Document No. IRG/WP/1279. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden
- Brettschichholz-Merkblatt Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. www.brettschichholz.de, April 2005
- Brischke, Ch., (2007): Untersuchung abbaubestimmender Faktoren zur Vorhersage der Gebrauchsdauer feuchtebeanspruchter Holzbauteile, DISSERTATION zur Erlangung des Doktorgrades im Department Biologie der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der Universität Hamburg
- Bues, C-T., Triebe, I J., (2000): Forstgeschichtliche Betrachtungen zur Bedeutung der mondphasenabhängigen Fällzeitregelung in Forstordnungen und anderem forstlichem Schrifttum. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 151: 432 – 438
- Burmester, A., (1970): Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit – Grundlagen und Vergütungsverfahren. BAM-Bericht Nr. 4, Bundesanstalt für Materialforschung, Berlin
- Clausnitzer K-D., 1990: Historischer Holzschutz. Ökobuchverlag, Stauffen, Freiburg
- Clausnitzer, K.-D., (1990): Historischer Holzschutz. Stauffen bei Freiburg: Ökobuch Verlag 1990
- Cziesielski, E., (1999): Schimmelpilz – ein komplexes Thema. Wo liegen die Fehler? wksb – Zeitschrift für Wärmeschutz – Kälteschutz – Schallschutz – Brandschutz 44 (1999), H. 43, S. 25 – 28.
- DIN 4074. Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Teil 1 Nadelschnittholz Juni 2003.
- DIN 68800-3. Holzschutz, Vorbeugender chemischer Holzschutz, , Beuth-Verlag, Berlin, April 1990
- DIN EN 350-1. Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz, Teil 1: Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation, Oktober 1994.
- DIN EN 350-2. Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz, Teil 2, Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit ..., 1994
- Derbyshire, H., Carey, JK., (2001): Evaluating joinery preservatives: Performance prediction using BS EN 330 L-joint-trials (IP2/01). Watford: BRE
- Duchesne, LC., Hubbes, M., Jeng, RS., (1992): Biochemistry and molecular biology of defense reactions in the xylem of angiosperm trees. In: Blanchette RA, Biggs AR (Eds.) Defense mechanisms of woody plants against fungi. Springer, Berlin: 133 – 146
- Erler, K., (1993): Alte Holzbauwerke, Beurteilen und sanieren. Berlin, München: Verlag für Bauwesen 1993
- EN 335-1 (2006) Durability of wood and wood-based products – Definition of use classes – Part 1: General
- EN 335-2 (2006) Durability of wood and wood-based products – Definition of use classes – Part 2: Application to solid wood
- EN 460 (1994) Natural durability of solid wood – Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes
- Feist, WC., (1982): Weathering of wood in structural uses. In: Meyers R, Kellog R (Eds.) Structural Uses of Wood in Adverse Environment. Van Nostrand Reinhold Company, New York: 156 – 178
- Fengel, D., Wegener, G., (1989): Wood chemistry, ultrastructure, reactions. De Gruyter, Berlin

- Gérardin, P., Neya, B., Dumarçay, S., Pétrissans, M., Serraj, M., Huber, F., (2004): Contribution of gums to natural durability of *Prosopis africana* heartwood. *Holzforschung* 58: 39 – 44
- Gockel, H. (1996): *Konstruktiver Holzschutz*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH; Düsseldorf, Werner-Verlag GmbH
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O., (2005): *Hausfäule- und Bauholzpilze – Diagnose und Sanierung*, Rudolph Müller Verlag, Köln
- Huckfeldt, T., Schmidt, O., (2006): *Hausfäule- und Bauholzpilze*. Rudolf Müller, Köln
- Kamdem, DP., Pizzi, A., Jermannaud, A., (2002): Durability of heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60: 1 – 6
- Keilwerth, (1949): in: Kollmann, F., 1951: *Technologie des Holzes*. Reprint, Springer-Verlag 1982, 1050 S.
- Kempe, K., (2001): *Dokumentation Holzschädlinge*. Berlin: Verlag für Bauwesen 2001
- Kropf, FW., Sell, J., Feist, WC., (1994): Comparative weathering tests of North American and European exterior wood finishes. *Forest Products Journal* 44: 33 – 41
- Leise, B., (1988): Vorbeugender Baulicher Holzschutz. *Schweizer Schreinerzeitung* 33/1988, S. 804 – 809
- Liese, W., Peek, R-D., (1987): Erfahrungen bei der Lagerung und Vermarktung von Holz im Katastrophenfall. *Allgemeine Forstzeitschrift* 42: 909 – 912
- Metzeler, B., Gross, M., Mahler, G., (1993): Pilzentwicklung in Fichtenholz unter Schutzatmosphäre. *European Journal of Forest Pathology* 23: 281 – 289
- Müller, K., (1993): *Holzschutzpraxis*. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH
- Peylo, A., (2006): Probleme und Variationen mit der natürlichen Dauerhaftigkeit bei Eiche, Vortrag Eipos-Seminar, Dresden
- Radovic, B., (2008): Neue DIN 68800, Holzschutz aktueller Stand, Tagungsband 19. Hanseatische Sanierungstage, Heringdorf/Usedom, Fraunhofer IRB-Verlag, 280 S.
- Rapp, AO., Peek, R-D., Sailer, M., (2000): Modelling the moisture induced risk of decay for treated and untreated wood above ground. *Holzforschung* 54: 111 – 118
- Rapp, AO., (Ed.) (2001): Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar on heat treatments. 09.02.2001 in Antibes, France. EUR 19885, Office for official publications of the European communities, Luxembourg, Luxembourg
- Richter, W., (1999): Verhinderung der Schimmelpilzbildung – welche Möglichkeiten bietet die Fensterlüftung? Vortrags-Manuskript, Rosenheimer Fenstertage 14. – 15. Okt. 1999, S. 89 – 98.
- Ridout, B., (2000): *Timber decay in buildings. The conservation approach to treatment*. E & FN Spon, London
- Rypáček V., (1966): *Biologie holzzerstörender Pilze*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
- Rydell, Å., Bergström, M., Elowson, T., (2005): Mass loss and moisture dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) exposed outdoors above ground in Sweden *Holzforschung* 59: 183 – 189
- Sailer, M., Rapp, AO., Leithoff, H., Peek, R-D., (2000): Vergütung von Holz durch Anwendung einer Öl-Hitzebehandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58: 15 – 22
- Scheffer, TC., (1986): O<sub>2</sub> requirements for growth and survival of wood-decaying and sapwood-staining fungi. *Canadian Journal of Botany* 64: 1957 – 1963
- Schmidt, O., (2016): *Wood and tree fungi. Biology, Damage, Protection, and Use*. Berlin: Springer-Verlag; 2006
- Schmidt, O., (2007): Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, causal fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control. *Mycological Progress*. Published online. DOI: 10.1007/s11557-007-0534-0
- Schuhmacher, P., Schulz, H., (1992): Untersuchungen über das zunehmende Auftreten von Innenbläue an Kiefern-Schnittholz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 50: 125 – 134
- Schwantes, HO., (1996): *Biologie der Pilze: Eine Einführung in die angewandte Mykologie*. Ulmer, Stuttgart
- Sedlbauer, K., Krus, M.: Schimmelpilz aus bauphysikalischer Sicht, Beurteilung durch aw-Werte oder Isoplethensysteme?, [fraunhofer.de/ibp/publikationen/konferenzbeitraege/pub1\\_41.pdf](http://fraunhofer.de/ibp/publikationen/konferenzbeitraege/pub1_41.pdf)
- Sedlbauer, K., (2002): Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. *Bauphysik* 24 (2002), H. 3, S. 167 – 176
- Sondegger, W.; Niemz, P., (2009): Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von Holzwerkstoffen, Beitrag in der Zeitschrift Steinbrecher, Diethard: BTU Cottbus, Lehrstuhl für Stahl- und Holzbau, Fachgebiet Holz
- Teischinger, A., Fellner, J., (2000): Alte Regeln neu interpretiert – Praxisversuche mit termingeschlägertem Holz. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen* 151: 425 – 431
- Terziev, N., Nilsson, T., (1999): Effect of soluble nutrient content in wood on its susceptibility to soft rot and bacterial attack in ground test. *Holzforschung* 53: 575 – 579
- Tjeerdsma, BF., Boontsra, M., Pizzi, A., Tekely, P., Militz, H., (1998): Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff* 56: 149 – 153
- Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., Räsänen, J., 2010: Towards modelling of decay risk of wooden materials; *European Journal of Wood and Wood Products*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 2010
- Viitanen, H.; Ritschkoff, A-C, (1991): Brown rotdecay in wooden constructions. Effect of temperature, humidity and moisture; Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report no 222, Uppsala, 1991
- Wagenführ, R., Schreiber, C., (1985): *Holzatlas*. VEB Fachbuchverlag, Leipzig

- Wälchli, O., (1977): Der Temperatureinfluss auf die Holzzerstörung durch Pilze. Holz als Roh- und Werkstoff 35: 45 – 51
- Wany, J., Krajewski, K.J., (1984): Jahreszeitliche Änderungen der Dauerhaftigkeit von Kiefernholz gegenüber holzerstörenden Pilzen. Holz als Roh- und Werkstoff, 42: 55 – 58
- Welzbacher, CR., Rapp, AO., (2003): Comparison of thermally modified wood originating from four industrial scale processes – durability. Document No. IRG/WP 02-40229. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden
- Wesche, K. (1988): Baustoffe für tragende Bauteile, Holz und Kunststoffe. Wiesbaden, Berlin: Bauverlag GmbH 1988
- Westin, M., Rapp, AO., Nilsson, T., (2004): Durability of pine modified by 9 different methods. Document No. IRG/WP 02-10434. International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden
- Willeitner, H.; Schwab, E., (1981): Holz-Außenanwendung im Hochbau. Stuttgart: Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH 1981
- Zöld, A., (1990): Mindestluftwechsel im praktischen Test. HLH – Heizung, Lüftung, Haustechnik Bd. 41 (1990), H. 7, S. 620 – 622.
- Zürcher, E., (2000) Mondbezogene Traditionen in der Forstwirtschaft und Phänomene in der Baumbiologie. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 151: 417 – 424

## Anhang:

	<b>Echter Hausschwamm (<i>Serpula lacrymans</i>)</b>	<b>Warzenschwamm (<i>Coniophora puteana</i>)</b>	<b>Weißer Porenschwamm (<i>Antrodia sinuosa</i>)</b>	<b>Eichenporling (<i>Donkioporia expansa</i>)</b>	<b>Blättlinge (<i>Gloeophyllum spec.</i>)</b>
<b>Fruchtkörper</b>	Netzlig, faltig, anliegend o. mit Hutkante, orange bis rostbraun mit weißem Zuwachsrand, fleischig	glatt bis warzig, anliegend, hellbraun bis dunkel-olivbraun mit weißem Zuwachsrand	anliegende o. schwach abstehende Poren-schicht, weiß bis gelblich oder cremefarben	anliegende Poren-schicht, jung weiß, fleckend, alt grau- bis ockerbräunlich	mit deutlichen Hutkanten, mit Lamellen, zimt- bis dunkelbraun, Rand oft leuchtend orange
<b>Oberflächenmycel</b>	jung weiß, wattig, z.T. mit gelben Flecken, alt häutig, silbriggrau	strangartig (siehe unten)	weiß, sich eisblumen-artig ausbreitend, stets rein weiß bleibend	dickmattig, styropor-artig	Bildung von Luftmycel nur in abgeschlossenen Räumen
<b>Mycelstränge</b>	kräftig, mit lappigem Zwischenmycel, trocken starr, zerbrechen mit hörbarem Knacken	haarförmige bis feinwurzelartige, dunkel- bis schwarzbraune Stränge	vorhanden, auch trocken biegsam	fehlen	fehlen
<b>Fäuletyp</b>	Braunfäule	Braunfäule	Braunfäule	Weißfäule	Braunfäule (Innenfäule)
<b>befallene Hölzer</b>	vorwiegend Nadelhölzer, aber auch Laubhölzer	vorwiegend Nadelhölzer, aber auch Laubhölzer	überwiegend Nadelhölzer, selten Laubhölzer	überwiegend Eiche, selten andere Laub- und Nadelhölzer	fast ausschließlich Nadelhölzer
<b>mikroskopisches Befallsbild im Holz</b>	Hyphen regelmäßig mit Schnallen, Schnallen genauso breit wie die Hyphen	Hyphen ohne Schnallen oder mit Wirtelschnallen	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt
<b>Vorkommen</b>	typischer „Altbaupilz“, besonders in Keller- und Erdgeschoss, oft nach unsachgemäßer Dämmung	typischer „Neubautenpilz“, bei ausreichender Feuchte im gesamten Gebäude, auch im Freien	gleichermaßen in Alt- und Neubauten, auch im Freien	nur in Bereichen mit nachhaltiger Durchfeuchtung des Holzes über längere Zeit	an witterungsexponiertem Holz (Fensterhölzer, Balkone, Garagentore etc.)
<b>Feuchteoptimum</b>	30 – 40 % (im etablierten Zustand sogar ab 20 %)	50 – 60 %	40 %	„sehr hoch“	40 – 60 %
<b>Temperaturbereich</b>	3 – 26 °C	3 – 35 °C	3 – 36 °C	Optimum 27 °C	5 – 44 °C
<b>Bemerkungen</b>	besiedelt auch trockenes Holz		zu längerer Trockenstarre befähigt	gefährlichster Zerstörer des Eichen-Kernholzes	zu längerer Trockenstarre befähigt

Tabelle 2: Wichtige holzerstörende Pilze und ihre Merkmale

Käferart	Mattschwarze Scheibenbock ( <i>Ropalopus femoratus</i> )	Mulmbock ( <i>Ergates faber</i> )	Rothalsbock ( <i>Stictoleptura rubra</i> )	Gemeiner Nagekäfer ( <i>Anobium punctatum</i> )	Bunter Nagekäfer ( <i>Xestobium rufovillosum</i> )	Hausbock ( <i>Hylotrupes bajulus</i> )	Brauner Splintholzkäfer ( <i>Lyctus brunneus</i> )
<b>Lebensraum</b>	Laub- & Nadelholz mit Rinde  Baut Gänge direkt unter der Rinde und Hakengang zum verpuppen, tritt häufig an Brennholz auf	Meist Nadelhölzer mit Erdkontakt.	Larven leben im Totholz von Nadelgehölzen. z.B. in Telegraphenmasten aus Nadelholz oder aber in Fensterbrettern und Bodenschwellen von Häusern, Larven haben eine Entwicklungsdauer von 2 Jahren	Lebt in vielen Holzarten, mag es kühl. Im Brennholz meist nur nach mehrjähriger Lagerung zu finden. Kann wertvolle Holzgegenstände wie Skulpturen oder Möbel stark beschädigen, auch feuchte Dachstühle, Tür- und Fensterrahmen sowie Holzfußböden befallen	Lebensraum ist hauptsächlich Eiche, Weide und andere Laubholzarten. Kommt nur in bereits von holzerstörenden Pilzen befallenem Holz vor. Besonders häufig werden im Innenraum Holzskulpturen, antike Möbel, Bilderrahmen aus Holz, Parkettböden oder Holztreppe befallen	Lebensraum der Larven ist totes oder verbautes Nadelholz. Befall ist äußerlich nur schwer erkennbar, aber zum Teil hörbar (Fressgeräusche). Larven haben eine Entwicklungsdauer von bis zu 8 Jahren	lebt im Holz verschiedener Laubhölzer. Ursprünglich über Importholz eingeführt, I.d.R. nicht im Brennholz anzutreffen. Inneneinrichtungen und Möbeln aus diesen Laubholzarten, Museumsschädling, da er zum Beispiel Vitrinen und Bilderrahmen aus Holz befallen kann
<b>Gefahr für Gebäude</b>	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja – bei entsprechender Holzfeuchte	Ja – gefährlicher Holzparasit, der z.B. Dachstühle aus Nadelholz völlig zerstören kann	Ja – zerstört in wenigen Jahren Holzböden oder auch Balkenwerk
<b>Feuchteoptimum</b>	Holzfeuchte >20 %	Benötigt hohe Holzfeuchte >30 %	Benötigt hohe Holzfeuchte >25 %	Larven benötigen eine Holzfeuchte >12 %	Benötigt Holzfeuchte >16 %	Holzfeuchte etwa 12 – 50 %	befällt auch sehr trockenes Holz ab 7 – 9 %
<b>Morphologische Merkmale</b>	Länge von 7 bis 14 mm, Larve erreicht eine Länge von 15 bis 18 mm	Ausgewachsene Käfer werden bis zu 6 cm lang	10 bis 19 mm	3 bis 4 mm großen, graubraunen Käfer		10 bis 21 mm, Larven haben eine Größe von bis zu 25 mm	1 – 2 mm große Larve, Käfer 2,5 bis 8 mm
<b>Ausfluglöcher, Frassgänge</b>	ovale Ausfluglöcher von einer Größe von 4 mal 6 mm	nahezu kreisrunde große Ausfluglöcher	nahezu kreisrunde Ausfluglöcher	Fluglöcher der Käfer haben einen Durchmesser von ein bis 2 mm und sind leicht durch herausrieselndes Holzmehl als solche zu identifizieren	Fluglöcher 2 bis 4 mm	Gänge von bis zu 12 mm Durchmesser	kreisrunden Ausfluglöcher der Käfer weisen einen Durchmesser von 0,9 bis 1,7 mm auf

Tabelle 3: Wichtige holzerstörende Käferarten und ihre Merkmale