

39

Z
U
B
A
U
E
S
E
I
E
N
F
R
E
I
E
N
D
A
D
S
C
H
A
D
A
N
F
R
E
I
E
N
D
A
D
S

Herausgegeben von Ralf Ruhnau
Begründet von Günter Zimmermann

Tilo Haustein

Schäden durch fehlerhaftes Konstruieren mit Holz

2., vollständig neu bearbeitete Auflage

Fraunhofer IRB ■ Verlag

Tilo Haustein

Schäden durch fehlerhaftes Konstruieren mit Holz

Schadenfreies Bauen

Herausgegeben von Dr.-Ing. Ralf Ruhnau
Begründet von Professor Günter Zimmermann

Band 39

Schäden durch fehlerhaftes Konstruieren mit Holz

Von
Tilo Haustein

2., vollständig neu bearbeitete Auflage

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISSN: 2367-2048
ISBN (Print): 978-3-7388-0159-0
ISBN (E-Book): 978-3-7388-0160-6

Lektorat: Claudia Neuwald-Burg
Redaktion: Viola Pusceddu
Satz, Herstellung: Gabriele Wicker
Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Druck: Offizin Scheufele Druck und Medien GmbH & Co. KG, Stuttgart

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten
Ausbagedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die
über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung
des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen,
Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht
zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-
Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen.
Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN,
VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für
Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die
eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung
hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2021
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Fachbuchreihe Schadenfreies Bauen

Bücher über Bauschäden erfordern anders als klassische Baufachbücher eine spezielle Darstellung der Konstruktionen unter dem Gesichtspunkt der Bauschäden und ihrer Vermeidung. Solche Darstellungen sind für den Planer wichtige Hinweise, etwa vergleichbar mit Verkehrsschildern, die den Autofahrer vor Gefahrstellen im Straßenverkehr warnen.

Die Fachbuchreihe SCHADENFREIES BAUEN stellt in vielen Einzelbänden zu bestimmten Bauteilen oder Problemstellungen das gesamte Gebiet der Bauschäden dar. Erfahrene Bausachverständige beschreiben den Stand der Technik zum jeweiligen Thema, zeigen anhand von Schadensfällen typische Fehler auf, die bei der Planung und Ausführung auftreten können, und geben abschließend Hinweise zu deren Sanierung und Vermeidung.

Für die tägliche Arbeit bietet darüber hinaus die Volltextdatenbank SCHADIS die Möglichkeit, die gesamte Fachbuchreihe online als elektronische Bibliothek zu nutzen. Die Suchfunktionen der Datenbank ermöglichen den raschen Zugriff auf relevante Buchkapitel und Abbildungen zu jeder Fragestellung (www.irb.fraunhofer.de/schadis).

Der Herausgeber der Reihe

Dr.-Ing. Ralf Ruhnau ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Betontechnologie, insbesondere für Feuchteschäden und Korrosionsschutz, außerdem ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden. Als Partner der Ingenieurgemeinschaft CRP GmbH, Berlin, und in Fachvorträgen befasst er sich vor allem mit Bausubstanzbeurteilungen sowie bauphysikalischer Beratung für Neubau und Sanierungsvorhaben. Seit 2016 ist er Präsident der Baukammer Berlin. Er war mehrere Jahre als Mitherausgeber der Reihe aktiv und betreut sie seit 2008 alleinverantwortlich.

Der Begründer der Reihe

Professor Günter Zimmermann (†) war von 1968 bis 1997 ö.b.u.v. Sachverständiger für Baumängel und Bauschäden im Hochbau. Er zeichnete 33 Jahre für die BAUSCHÄDEN-SAMMLUNG im Deutschen Architektenblatt verantwortlich. 1992 rief er mit dem Fraunhofer IRB Verlag die Reihe SCHADENFREIES BAUEN ins Leben, die er anschließend mehr als 15 Jahre als Herausgeber betreute. Er ist der Fachwelt durch seine Gutachten, Vortrags- und Seminartätigkeiten und durch viele Veröffentlichungen bekannt.

Vorwort des Herausgebers

Der Baustoff Holz hat sich seit prähistorischer Zeit nicht verändert, während alle anderen Baumaterialien wie Stein, Stahl und schließlich Beton im Laufe der Geschichte enormen Wandlungen unterworfen waren und noch sind. Holz ist beständiger, nachhaltiger Träger unserer Baukultur. Die Suche nach ressourcenschonenden und klimaneutralen Bauweisen verschafft dem Holzbau derzeit höchste Aufmerksamkeit. Das Konstruieren mit Holz dringt in Bereiche des Bauwesens vor, die im 20. Jahrhundert vor allem dem Stahl- und Betonbau vorbehalten waren; selbst Hochhäuser werden in Holzbauweise errichtet.

Die Euphorie, die den CO₂-bindenden Baustoff Holz als »Retter unserer Welt« trägt, wird befeuert durch politische und wirtschaftliche Anreize. In unseren Bauordnungen werden Erleichterungen für den Holzbau geschaffen durch erweiterte Möglichkeiten der Verwendung normalentflammbarer (hölzerner) Baustoffe für Fassaden. Das Bauen mit Holz wird also zunehmend an Bedeutung gewinnen und weniger ökologische Bauweisen zu einem beträchtlichen Teil verdrängen.

Das Konstruieren mit Holz wird damit – neben dem traditionellen Handwerk – geprägt von immer neueren Verarbeitungsmethoden und Verbindungs-konstruktionen. Konstruktionsregeln, Schutz vor Witterung sowie pflanzlichem und tierischen Schädlingsbefall, die Auswahl geeigneter Holzarten und deren sachgerechte Verarbeitung für den jeweiligen Anwendungsfall sind aber unverändert Basis für schadenfreies Konstruieren mit Holz.

Es ist zu erwarten, dass mit zunehmender Planungs- und Bautätigkeit im Holzbau auch die potenzielle Schadenshäufigkeit durch Nichtbeachtung der einschlägigen Konstruktionsregeln ansteigt. Dem soll die vorliegende 2. Auflage SCHÄDEN DURCH FEHLERHAFTES KONSTRUIEREN MIT HOLZ von Herrn Tilo Haustein in der Fachbuchreihe SCHADENFREIES BAUEN vorbeugen. Dieses Buch, das grundlegende Kenntnisse über den Baustoff Holz, die wirksame Vermeidung und Bekämpfung von Schädlingen, das richtige Konstruieren und schließlich eindrucksvolle Schadensbeispiele aufzeigt, ist nicht nur dem sachverständigen Gutachter, sondern auch den Planern und Ausführenden wärmstens zu empfehlen.

Ich danke Herrn Haustein für dieses hervorragende, reich bebilderte Kompendium, in das er seine reiche Berufserfahrung eingebracht hat.

Ralf Ruhnau

April 2021

Vorwort des Autors

Als mich Herr Dr. Ruhnau anrief, dass eine zweite Auflage vom Buch benötigt wird, weil die erste Auflage fast ausverkauft ist, war ich schon etwas überrascht. Wie doch die Zeit vergeht. Ja es ist richtig, mehr als zehn Jahre sind nunmehr vergangen, seit die erste Auflage dieses Buches in der Reihe »Schadenfreies Bauen« erschienen ist. Damals noch unter der Federführung des von mir sehr geschätzten Herrn Professor Zimmermann, der inzwischen leider verstorben ist.

Da sich auch im Regelwerk so einiges verändert hat, ist eine zweite Auflage eine gute Gelegenheit, ein Fachbuch wieder auf den neuesten Stand zu bringen. Es soll auch nicht nur eine Überarbeitung sein, sondern mit weiteren Beispielen an die erste Auflage anknüpfen.

Holz ist für mich einer der schönsten Baustoffe. Seine breite Anwendungsmöglichkeit und die mit Holz zu erzielende Optik begeistern mich immer wieder aufs Neue. Wenn es meine Zeit erlaubt, bin ich unterwegs und schaue mir ortstypische Holzkonstruktionen in Deutschland, Europa, aber auch in der Ferne an.

Gern möchte ich meine Leidenschaft für Holz mit anderen teilen. Ich hoffe, es gelingt mir mit diesem Buch, auch wenn ich ziemlich viel über entstandene Schäden an Holzbauteilen schreibe. Mit Beispielen und Empfehlungen, wie man es richtig macht, werden hoffentlich die Vorteile des Baustoffs wieder ins richtige Licht gerückt.

Ein Buchprojekt macht man nicht alleine. Viele fleißige Hände sind dafür nötig. Besonders danke ich meiner Ehefrau Vera Haustein, die als Bauingenieurin zum Büroteam gehört.

Ich wünsche viel Spaß beim Lesen dieses Buches. Möge es unterhaltende und zugleich weiterbildende Literatur sein.

Tilo Haustein

März 2021

*Im Andenken an meinen Vater
Herrn Oberingenieur Harry Haustein
(1938–2020)*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
2	Holz als Baustoff	15
2.1	Aufbau und Struktur des Holzes	15
2.1.1	Holzaufbau	15
2.1.2	Chemischer Aufbau	21
2.1.3	Anisotropie	21
2.2	Holzfeuchte	23
2.3	Eigenschaften von Holz	27
2.3.1	Natürliche Dauerhaftigkeit	27
2.3.2	Quellen und Schwinden bei Vollholz	28
2.4	Holzarten und deren Verwendung	32
2.4.1	Anwendungsbereiche im Bauwesen	32
2.4.2	Einheimische Nadel- und Laubhölzer	32
2.4.3	Außereuropäische Hölzer	39
2.4.4	Modifizierte Hölzer	44
2.5	Holzwerkstoffe	45
2.6	Gefährdung durch Holzschädlinge	48
2.6.1	Holzzerstörende und holzverfärbende Pilze	48
2.6.1.1	Übersicht über die wichtigsten Pilze im Gebäude	52
2.6.2	Holzzerstörende Insekten	72
2.6.2.1	Übersicht über die wichtigsten Holzinsekten	75
2.7	Einstufung nach Gebrauchsklassen	93
2.8	Maßnahmen zum Schutz des Holzes	96
2.8.1	Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Feuchteschäden	96
2.8.2	Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen holzzerstörende Insekten	99
2.8.3	Ausnutzung der natürlichen Dauerhaftigkeit	100
2.8.4	Beschichtungen auf Holz	103
2.8.5	Anwendung von Holzschutzmitteln	106

3	Schadenbeispiele im Außenbereich	109
3.1	Erdberührte Bauteile	109
3.1.1	Schadenträchtiger Gebäudesockel	109
3.1.2	Rundholzstützen im Erdkontakt	113
3.1.3	Verkürzte Lebensdauer von Palisaden	115
3.1.4	Vorsorgliche Zustandsüberprüfung an einer Trägerbohlwand	119
3.2	Dielen und Bohlenbeläge	122
3.2.1	Verfärbung von WPC-Dielen	122
3.2.2	Fleckenförmige Verfärbungen am Holz	125
3.2.3	Risse und Äste an einem Holzbohlenbelag	126
3.3	Stützen und Balken	130
3.3.1	Schwachstellen an Holzkonstruktionen im Außenbereich	130
3.3.2	Biotische Schäden an Pergolahölzern	134
3.3.3	Undichtigkeiten an einem Sonderbauwerk	137
3.3.4	Gefährdete Bauteilanschlüsse an Laubengängen	140
3.3.5	Schäden an einer Balkonbrüstung durch Haarfugen	143
3.3.6	Schadenschwerpunkt Balkenkopf	146
3.3.7	Sekundäre Besiedlung an Holzsäulen	148
3.3.8	Verformungen und Risse am Fachwerk	151
3.4	Fenster und Fassaden	154
3.4.1	Schäden an Holzfenstern	154
3.4.2	Schäden an Holzwerkstoffplatten im Fassadenbereich	157
3.4.3	Lasurschäden an einer Fassade aus Fichtenholz	161
3.4.4	Schäden durch Graffitientfernung auf Holz	165
3.4.5	Vergrauung von Holzfassaden	168
3.5	Dächer	172
3.5.1	Schimmel- und Bläuepilzbefall an der Dachuntersicht aus Holzwerkstoffplatten	172
3.5.2	Schäden am nicht belüfteten Flachdach in Holzbauweise	175
3.5.3	Pilzbefall an der Unterkonstruktion einer Dachterrasse	179



4	Schadenbeispiele im Innenbereich	183
4.1	Schimmel, Schadstoffe und Holzzerstörer	183
4.1.1	Schimmelbefall am Dachstuhl	183
4.1.2	Belastung von OSB-Platten durch Kollektorflüssigkeit	189
4.1.3	Hausschwammbefall und deren alternative Bekämpfung	192
4.1.4	Aktiver Befall durch den Hausbockkäfer	195
4.2	Verformungen und Risse	198
4.2.1	Verformung und Fugenbildung am Blockhaus	198
4.2.2	Faserstauchungen am Dachstuhlholz	201
4.2.3	Schüsseln von Holzdielen	204
4.2.4	Risse im Fliesenbelag auf einer Holzbalkendecke	206
	Literaturverzeichnis	209
	Stichwortverzeichnis	213

1 Einleitung

Holz ist einer der ältesten Werkstoffe der Welt. Es wächst nach, bindet CO₂, ist leicht und hat hervorragende mechanische Eigenschaften.

Als Baustoff hat Holz unstreitig einen festen Platz im Bauwesen eingenommen. Dafür sprechen viele gute Gründe. Bedeutende Bauwerke aus Holz, die unsere Stadtbilder prägen, sind in den letzten Jahren entstanden. Genannt seien hier als Beispiel das zurzeit der Buchproduktion weltweit höchste Holzhochhaus, das HoHo im 22. Bezirk von Wien oder das beeindruckende Tonnendach der Crossrail Station im Londoner Bankenviertel Canary Wharf (Bild 1).

Es sind aber nicht nur die Leuchttürme im Holzbau, die unsere Freude am Baustoff Holz wecken, sondern es ist seine universelle Anwendung für viele konstruktive und gestalterische Aufgaben. Ich denke hier beispielsweise an Holzhäuser in den unterschiedlichsten Baustilen, an Verkleidungen von Fassaden, an moderne oder historische Fenster und Balkonkonstruktion, aber auch an die zur Entspannung einladenden Holzterrassen und Pergolen in Garten und Parks. Alle diese Beispiele zeigen, dass Holz ein vielfältiger Baustoff ist, der auch hohen optischen Ansprüchen gerecht wird.

Neben den vielen Vorteilen soll nicht verschwiegen werden, dass der Baustoff Holz zuweilen auch etwas eigenwillig ist. Die Kenntnis der Holzeigenschaften ist dabei der Schlüssel zum Erfolg, um dauerhafte Konstruktionen zu erschaffen.

Ziel der zweiten Auflage dieses Fachbuches soll es sein, anknüpfend an die erste Auflage, wichtige Eigenschaften des Baustoffs Holz, unterstützt durch viele Beispiele und Bilder, zu erklären und nahe zu bringen. Es soll gezeigt werden, welche Holzart für welchen Anwendungszweck geeignet ist und dass es kein Universalholz gibt, das immer und überall verwendet werden kann. Hat man die Holzeigenschaften einmal verstanden und berücksichtigt diese beim Konstruieren, dann sind Lebensdauern von 100 Jahren und mehr für Holzkonstruktionen keine Seltenheit, sondern üblich.

Um mit Holz erfolgreich zu bauen, muss man insbesondere seine Eigenarten kennen und auch verstehen. Die Schwierigkeit beim Verwenden und Konstruieren mit Holz liegt vor allem darin, dass Holz eine Vielzahl von Eigenschaften aufweist, die man grob in biologische, physikalische, chemische und mechanische Eigenschaften unterteilen kann. Insofern sind Kenntnisse über den Aufbau und die Struktur des Holzes von besonderer Bedeutung. Das nachfolgende Kapitel widmet sich diesen holzkundlichen Grundlagen.



Bild 1 ▀ Tonnendach aus Holz in Gitterstruktur der Londoner U-Bahn-Station Canary Wharf

2 Holz als Baustoff

2.1 Aufbau und Struktur des Holzes

2.1.1 Holzaufbau

Der Stamm eines Baumes besteht aus mehreren Schichten. Von außen nach innen zeigt sich folgender prinzipieller Aufbau (Bild 2):

1. Borke (Außenrinde),
2. Bast (Innenrinde),
3. Kambium,
4. Holzkörper aus Kern- und Splintholz,
5. Markröhre.

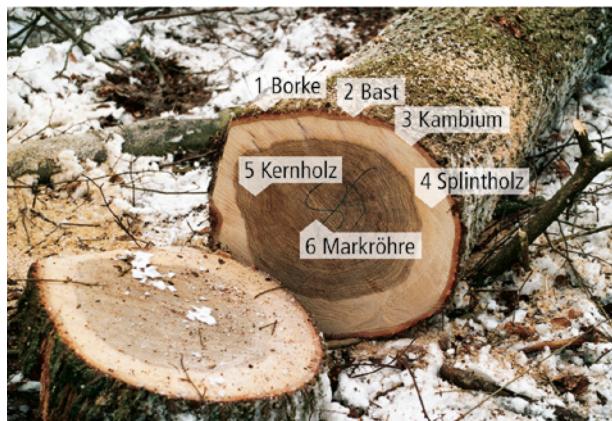


Bild 2 ■ Stammaufbau von außen nach innen: Rinde, Kambium, Splint- und Kernholz sowie Markröhre, hier am Beispiel einer gefällten Eiche

Die **Rinde** setzt sich aus Borke (Außenrinde) und dem Bast (Innenrinde) zusammen. Die Borke dient dem Schutz des Baumes vor mechanischer Beschädigung und Austrocknung. Der Bast stellt, vereinfacht gesagt, die Versorgungsleitung des Baumes dar.

Das **Kambium**, auch als Wachstumsgewebe bezeichnet, ist eine teilungsfähige Zellschicht, die Holz erzeugt. Mit bloßem Auge ist das Kambium nicht erkennbar, denn es ist nur wenige Zellreihen breit. Nach außen bildet das Kambium Bastzellen und nach innen neue Holzzellen (Bild 3), die den Jahrring aus Früh- und Spätholz entstehen lassen. Die Zellbildung beginnt dabei jeweils nach der Winterruhe und sorgt für das Dickenwachstum des Baumes.

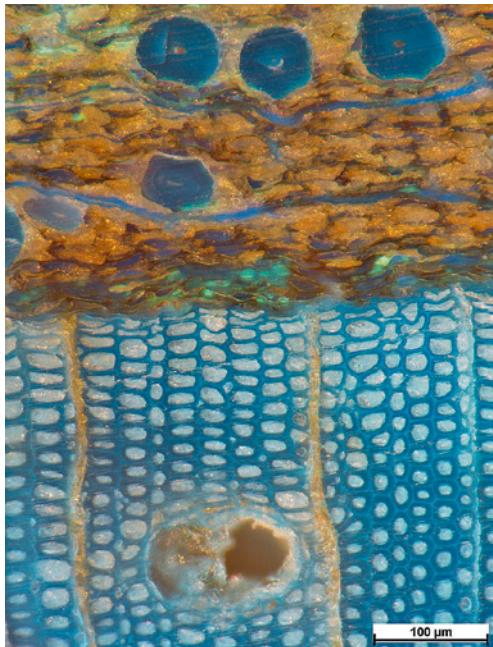


Bild 3 ■ Erkennbare Kambiumzellen zwischen Holz und Rinde am Beispiel der Lärche (UV-Licht, M. 250:1), (Foto: Björn Weiß, Dresden)

Das Splintholz führt Saft und ist die Nährstoffleitung des Baumes von der Wurzel bis zur Krone. Daher ist im Splintholz die Holzfeuchte auch sehr hoch. Das Splintholz ist der äußere, zumeist hellere Teil des Holzes. Zugleich sind viele primäre Nebenbestandteile (zum Beispiel Eiweiß, Stärke, Zucker) enthalten. Als nicht verkerter Teil des Stammquerschnitts enthält es lebende Zellen. Seine Breite ist variabel (genetisch bedingt) und unterscheidet sich bei den Holzarten.

Das Kernholz ist der innere, zentrale Holzanteil im stehenden Stamm. Es enthält keine lebenden Zellen und führt keinen Saft (keine Beteiligung am Nährstofftransport). Kernholz ist im Vergleich zum Splintholz meist dunkler (zumeist rötlich bis braun gefärbt), dekorativer, trockner und deutlich schwieriger chemisch zu schützen (z.B. durch Imprägnieren). Aufgrund von Kernstoffen hat Kernholz eine hohe natürliche Dauerhaftigkeit gegen Angriffe durch Schädlinge.

Die Markröhre ist ein Gewebe mit meist nur wenigen Millimetern Durchmesser. Sie befindet sich innerhalb des ersten Jahrrings und verläuft über die gesamte Länge des Stamms.

Typische Farbkernhölzer sind Kiefer, Lärche, Douglasie, Robinie und Eiche. Hier ist das dunklere Kernholz visuell deutlich vom hellen Splintholz zu unterscheiden (Bild 4 und Bild 5). Das Kernholz dieser Hölzer ist gegenüber ihrem Splintholz gegen einen Befall durch holzzerstörende Pilze bei langanhaltender hoher Holzfeuchte oder bei Erdkontakt erheblich dauerhafter.



Bild 4 ■ Hirnschnitt von Kiefer als Fällschnitt mit deutlich rötlichem Farbkern



Bild 5 ■ Hirnschnitt von Douglasie (geschliffen) mit rötlichem Farbkern

Neben den Farbkernhölzern gibt es auch Bäume mit hellem Kernholz. Sie werden in der Praxis als Reifholzbäume bezeichnet. Sie bilden keinen Farbkern aus. Das Kernholz ist vom Splintholz visuell kaum zu unterscheiden. Beispiele dafür sind die Holzarten Fichte, Tanne, Linde und Rotbuche (Bild 6 und Bild 7). Wichtig ist, dass die natürliche Dauerhaftigkeit des Reifholzes gegenüber dem Splintholz nicht erhöht ist.



Bild 6 ■ Reifholz von Fichte ohne visuelle Unterscheidbarkeit zwischen Kern- und Splintholz



Bild 7 ■ Fällschnitt einer Rotbuche: Das Splintholz entspricht farblich dem Kernholz.

Weitere Arten der Kernholzbildung sind die verzögerte Kernholzbildung bei Splintholzbäumen und die fakultative Farbkernbildung, der sogenannte Falschkern. Die Reihölzer besitzen über den gesamten Stammquerschnitt Splintholzcharakter (Bild 8). Typische Vertreter sind Birke, Erle, Weißbuche sowie Spitzahorn. Diese Holzarten sind im Bauwesen für konstruktive Anwendungen ohne Relevanz.

Der Falschkern ist eine fakultative oder ungleichmäßige Farbkernbildung. Esche und Rotbuche bilden häufiger einen Falschkern aus (Bild 9). Zumeist kommt es durch natürliche Ursachen zu einer ungleichmäßigen Verfärbung im Stamminnenen von wolkiger Form. Wichtig ist dabei zu wissen, dass der Falschkern keine erhöhte natürliche Dauerhaftigkeit (Resistenz) gegenüber Schadorganismen aufweist und kaum mit Holzschutzmittel tränkbar ist. In seinen physikalischen Eigenschaften ist der Falschkern mit dem Splintholz zu vergleichen.



Bild 8 ■ Birke als typischer Vertreter der Splintholzbäume



Bild 9 ■ Rotbuche mit farblich auffälligem Falschkern

Alles im Leben eines Baumes hat immer mit dem ersten Jahrring um die Markröhre angefangen. Jedes Jahr kommt ein neuer Jahrring dazu. Zählt man die Jahrringe, so weiß man das Alter des Baumes.

In welchem Alter Holz geerntet wird, hängt von den Verwendungsabsichten ab. Dafür gibt es Zieldimensionen beim Brusthöhendurchmesser. Früher lag das übliche Erntealter von Fichten bei ungefähr 80 Jahren, von Kiefern bei 100 bis 120 Jahren und von Buchen bei 160 Jahren.

Der Jahrring besteht bei den einheimischen Holzarten aus dem Frühholz- und Spätholz. Beide Anteile bilden den Jahrring (Bild 10). Optisch sind Früh- und Spätholz gut voneinander zu unterscheiden. Das Frühholz wird im Frühjahr gebildet. Es ist hell und weitlumig. Spätholz dagegen ist schmal und farblich dunkel erscheinend. Es wird im Spätsommer bis Herbst gebildet und dient vorrangig der Festigkeit.

Tropische Hölzer zeigen aufgrund des fehlenden jahreszeitlichen Rhythmus keine sichtbaren Jahrringe. Man spricht hier von Wachstums- oder Zuwachszone.



Bild 10 ■ Jahrringe und Jahrringgrenzen am Hirnholz einer Kiefer. Das Spätholz ist dunkel, das Frühholz hell.

In der Praxis stellt sich des häufiger die Frage, ob es sich bei dem für eine Konstruktion verwendeten Holz um Nadel- oder Laubholz handelt. Das lässt sich relativ einfach ohne apparativen Aufwand feststellen. Das charakteristische Bestimmungsmerkmal sind die Gefäße (Poren). Nadelholz, das entwicklungsgeschichtlich älter ist, besitzt keine Gefäße, während bei den Laubhölzern Gefäße vorhanden und besonders am Hirnschnitt gut erkennbar sind (Bild 11).



Bild 11 ■ Weitlumige Frühholzgefäß (Poren) am Hirnschnitt von einer Eiche. Die Frühholzgefäß sind zu einem Ring angeordnet und bilden einen deutlichen Übergang zum anschließenden Spätholz.

2.1.2 Chemischer Aufbau

Chemisch besteht Holz im Wesentlichen aus Cellulose (Zellwandsubstanz), Hemicellulose (Holzbegleitstoffe), Lignin (Verholzungssubstanz) sowie den sogenannten Holzinhaltsstoffen (auch als Extraktstoffe bezeichnet).

Die Hauptbestandteile des Holzes sind Cellulose sowie Hemicellulose (60 bis 85 %) und Lignin (15 bis 35 %) [1]. Die Holzinhaltsstoffe, Nebenbestandteile des Holzes, beeinflussen viele seiner Eigenschaften. Sie sind nur in geringer Menge vorhanden (ca. 3 bis 10 % bei einheimischen Hölzern), aber in großer Vielfalt.

Die im Splintholz vorkommenden Inhaltsstoffe wie Fette, Zucker, Stärke und Eiweiße werden als primäre Nebenbestandteile bezeichnet. Sie sind für den Stoffwechsel im Baum erforderlich. Sie begünstigen aber auch den Befall durch Bläuepilze und bestimmte holzzerstörende Insekten.

Die im Kernholz enthaltenen Stoffe sind die sekundären Nebenbestandteile (z.B. Kernholzstoffe, Gerbstoffe, Farbstoffe, Harze). Sie bestimmen unter anderem die Farbe, den Geruch und die natürliche Dauerhaftigkeit der Hölzer.

Beispiele für die Auswirkungen von Nebenbestandteilen sind Verfärbungen an mineralischen Bauteilen durch Auswaschung (Bild 12) und der Harzaustritt an Terrassenbelägen.



Bild 12 ■ Ausgewaschene Eichenlohe hat den Beton verfärbt.

2.1.3 Anisotropie

Unter Anisotropie versteht man ein richtungsabhängiges Materialverhalten. Holz ist ein anisotropes Material.

Die Ursache der Anisotropie bei Holz liegt in der Struktur der Zellwand und der Anordnung der Zellen begründet. So weist Holz in den drei holzatomischen Hauptrichtungen

- Querschnitt (Fällschnitt des Baumes),
- Tangentialschnitt (Längsschnitt, als Brett- oder Fladerschnitt bezeichnet),
- Radialschnitt (Längsschnitt, als Riftschnitt bezeichnet)

unterschiedliche Eigenschaften auf (Bild 13).

Je nach Richtung sind die Festigkeiten, Quellmaße und E-Moduln unterschiedlich.

Beim Tangentialschnitt erfolgt der Schnitt parallel zur Stammachse. Tangential eingeschrittenes Holz zeigt eine gefladierte Textur mit überwiegend liegenden Jahrringen. Der Tangentialschnitt ist der übliche Einschnitt für Bauholz.

Beim Radialschnitt erfolgt der Schnitt durch die Stammachse. Radial eingeschrittenes Holz weist eine gestreifte Textur und überwiegend stehende Jahrringe auf.

Die wenigen aus einem Stamm zu gewinnenden radial eingeschnittenen Hölzer werden auch als Rifts oder Riftbretter bezeichnet. Diese Riftbretter haben den großen Vorteil der geringeren Schwindung, denn die radiale Schwindung ist nur halb so groß wie die Tangentiale. Außerdem verziehen sich Rifts weniger. Diese Hölzer werden von Fußbodenlegern und Bootsbauern verstärkt nachgefragt.

Bei Holzwerkstoffen ist die Anisotropie weniger ausgeprägt.



Bild 13 ■ Hauptschnitte des Holzes:
1 Querschnitt
2 Radialschnitt
3 Tangentialschnitt

2.2 Holzfeuchte

Die Holzfeuchte ist für die Gebrauchseigenschaften und zur Vermeidung von Bauschäden die maßgebende Größe. Von der Holzfeuchte abhängig sind zum Beispiel die Maßhaltigkeit, das Quell- und Schwindverhalten, die Rissbildung und die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen (Pilze und Insekten).

Eine Beschreibung des Holzfeuchtezustands in Bezug zum Holzfeuchtegehalt (ω) zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 ▪ Holzfeuchtebegriffe und deren Zuordnung

Holzfeuchtegehalt (ω)	Holzfeuchtezustand
~0 %	darrtrocken
~15 %	lufttrocken
~30 %	fasergesättigt
>100 %	saftfrisch
~200 %	wassergesättigt

Holz kann auch Feuchtegehalte über 100 % aufweisen (sehr nasses Holz). Das hängt damit zusammen, dass Holz mehr Wasser aufnehmen kann als sein Eigengewicht. Bei frisch geschlagenem Holz sind die Zellwände vollständig mit Wasser gesättigt und die Zellumina vollständig oder teilweise mit Wasser gefüllt. Je nach Holzart und abhängig davon, ob es sich um Kern- oder Splintholz handelt, liegen die Feuchtegehalte zwischen 50 bis 180 %. Eine Holzfeuchte von circa 200 % kann zum Beispiel für geflößtes Holz erwartet werden (Bild 14).

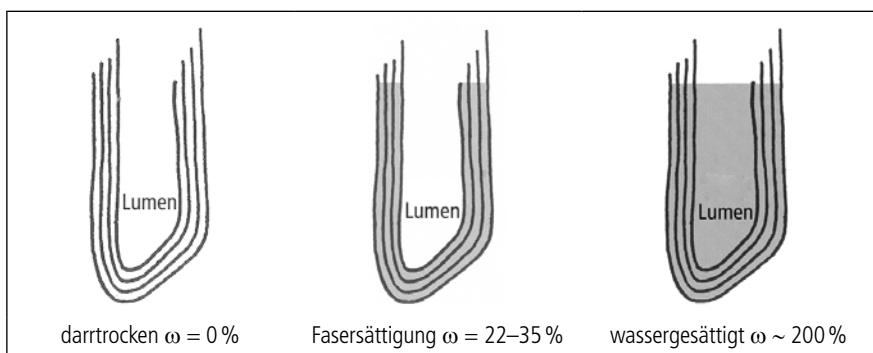


Bild 14 ▪ Die Holzzelle in Abhängigkeit vom Feuchtezustand

Holz ist hygroskopisch. Deshalb ist der darrtrockene Zustand nur durch Trocknung des Holzes bis zur Gewichtskonstanz zu erreichen. Sobald das Holz wieder aus dem Trockenschrank herausgenommen wird, nimmt es sofort wieder Wasserdampf aus der Umgebungsluft auf.

Das exakteste Verfahren zur Holzfeuchtebestimmung ist das Darrverfahren. Dafür ist die Entnahme einer Holzprobe erforderlich. Die Holzprobe wird bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und die Holzfeuchte gravimetrisch anhand der Feucht- und Darmasse bestimmt (siehe DIN EN 13183-1, S. 4, [2]):

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

m_0 die Masse des Prüfkörpers im darrtrockenen Zustand in Gramm

m_1 die Masse des Prüfkörpers vor dem Trocknen in Gramm

ω der Feuchtegehalt in Prozent

Für den Baustellenalltag ist die elektrische Messung nach der Widerstandsmethode in der Regel zumeist ausreichend. Sie ist unkompliziert und weitgehend zerstörungsfrei. Ein Nachteil der Widerstandsmethode ist eine eventuelle Beeinflussung des Messwerts durch Ionen im Holz (zum Beispiel aus einer Holzschutzmittelbehandlung). Damit ist der ermittelte Messwert gewissen Ungenauigkeiten unterlegen.

Eine Holzfeuchte von circa 15 % ist typisch für das Kaltdach (lufttrockenes Holz). Im nicht beheizten Dachstuhl stellt sich je nach Umgebungsklima eine Holzfeuchte von circa 12 bis 18 % ein. Das entspricht auch der Holzfeuchte mit der Konstruktionsvollholz (KVH) geliefert wird ($15\% \pm 3\%$) [3].

Der Fasersättigungsbereich ist ein »besonderer« Feuchtebereich. Er kennzeichnet den höchstmöglichen Gehalt des in den Zellwänden gebundenen Wassers. Die Zellwände sind bei diesem Feuchtezustand mit Wasser gesättigt. Der Fasersättigungsbereich wird unter anderem von der Dichte des Holzes beeinflusst und liegt für die meisten Holzarten zwischen 22 bis 35 % Holzfeuchte.

Oberhalb der Fasersättigung findet am Holz keine Volumenänderung mehr statt. Unterhalb des Fasersättigungsbereichs kommt es im Holz bei Feuchteaufnahme zu einer Zunahme von Dimension und Volumen (Quellung) und zur Abnahme der Festigkeiten und Elastizitätsmoduln.

Auch ist die Fasersättigungsfeuchte entscheidend für die Entwicklung von Pilzen. Für ihre Entwicklung benötigen holzzerstörende Pilze eine lokale Holzfeuchte ungefähr ab Fasersättigung. Im Sinne einer ausreichenden Sicherheit wird nach DIN 68800-1 im Holzschutz, unabhängig vom tatsächlichen

Feuchteanspruch holzzerstörender Pilze sowie der Fasersättigungsfeuchte, ein Wert von 20 % Holzfeuchte als Obergrenze für das Vermeiden eines Pilzbefalls angesetzt [4].

Die Fasersättigungsfeuchte ist kein feststehender Wert. Es bestehen Unterschiede in der Holzart und auch innerhalb derselben. So weist das Kernholz von ringporigen und halbringporigen Laubhölzern mit ausgeprägtem Farbkern (z.B. Eiche, Edelkastanie, Robinie) eine Fasersättigungsfeuchte von 22 bis 24 % auf, während sie bei Nadelhölzern ohne Farbkern (z.B. Fichte, Tanne) und beim Splintholz von Nadelhölzern mit Farbkern (z.B. Kiefer, Lärche) bei 30 bis 34 % liegt [4]. Als grober Mittelwert für den Feuchtegehalt bei Fasersättigung kann jedoch für die gebräuchlichsten Nadelhölzer der gemäßigten Klimazone ein Wert von etwa 30 % angesetzt werden.

Aus der Sichtweise des baulichen Holzschutzes ist die Holzfeuchte grundsätzlich zu begrenzen. Das Grundprinzip lautet, mit trockenem Holz zu bauen und dafür zu sorgen, dass es auch trocken bleibt.

Holz besitzt die Fähigkeit, Wasser und Wasserdampf aufzunehmen und das aufgenommene Wasser auch wieder abzugeben. Damit sind Veränderungen in der Holzfeuchte verbunden, die planerisch zu berücksichtigen sind.

Ist ein Holzbauteil über eine längere Zeit einem bestimmten Umgebungsklima ausgesetzt, stellt sich zwischen der relativen Luftfeuchte und der Holzfeuchte ein Gleichgewicht ein, das als Gleichgewichtsfeuchte oder Ausgleichsfeuchte bezeichnet wird (Tabelle 2).

Tabelle 2 ■ Holzgleichgewichtsfeuchte für die Holzart Fichte bei verschiedenen relativen Luftfeuchten und 20 °C Holztemperatur (nach R. Keylwerth) [5] [6] [7]

Holzgleichgewichtsfeuchte für die Holzart Fichte					
relative Luftfeuchtigkeit in %	35	50	65	75	85
Holzgleichgewichtsfeuchte in %	7,0	9,2	11,8	14,4	18,0

Wie schnell sich dieser Vorgang vollzieht, ist wesentlich vom Querschnitt des Bauteils, aber auch von der Holzart abhängig. Man bezeichnet diese Eigenschaft als Stehvermögen. So zum Beispiel reagieren Buche oder Esche als so genannte »nervöse Hölzer« wesentlich schneller auf Veränderungen im Umgebungsklima wie beispielsweise die »träge« Eiche.

Zu den dimensionsstabilen, also sehr gut stehenden Holzarten gehört beispielsweise Teak. Auch bei ausgeprägten Klimaschwankungen zeigt diese Holzart nur eine geringe Verformung und Maßänderung.

Für ein gutes Stehvermögen sind nicht nur die Schwind- und Quellmaße verantwortlich, sondern auch die langsame Angleichung des Holzfeuchtegehalts an das Umgebungsklima, was als Sorptionsverhalten bezeichnet wird. Zusätzlich spielen auch der Faserverlauf (Drehwuchs ist ungünstig), die Einschnittart (Radialschnitt ist besser als Tangentialschnitt) und die Konstruktion eine Rolle. Die einheimischen Holzarten Kiefer und Fichte können hinsichtlich ihres Stehvermögens als gut beurteilt werden, die Lärche hat nur ein mäßiges Stehvermögen.

Für unsere einheimischen Holzarten kann bei einer relativen Luftfeuchte von 50 % und einer Holztemperatur von 20 °C eine sich langfristig einstellende Holzgleichgewichtsfeuchte von ~9 % angenommen werden. Geringe Unterschiede sind vernachlässigbar.

Anders sieht die Situation bei bestimmten tropischen Hölzern aus (z.B. Afrormosia oder Guayacan). Hier beträgt die Gleichgewichtsfeuchte eben nicht ~9 %, sondern ist niedriger. Diese Hölzer sind dann mit einer Holzfeuchte von weniger als 9 % einzubauen, um Fugen zu vermeiden (Afrormosia mit 7,9 % und Guayacan mit 6,6 % Holzfeuchte als Einbaufeuchte).

Der Eurocode 5 [8] nennt Richtwerte der Gleichgewichtsfeuchten im Gebrauchszustand anhand von Nutzungsklassen (NKL). Es handelt sich hier um bewährte Angaben, die für den Holzbau praxistauglich sind (Tabelle 3). Das System der Nutzungsklassen ist dabei hauptsächlich zur Zuordnung von Festigkeitswerten und zur Berechnung von Verformungen unter festgelegten Umweltbedingungen notwendig.

Tabelle 3 ■ Gleichgewichtsfeuchte von Holzbaustoffen nach Nutzungsklassen (aus DIN EN 1995-1/NA:2013-08, S. 20) [8]

Nutzungsklasse	1	2	3
Gleichgewichtsfeuchte	5 bis 15 % ¹⁾	10 bis 20 % ²⁾	12 bis 24 % ³⁾

1) In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 1 eine mittlere Gleichgewichtsfeuchte von 12 % nicht überschritten.
2) In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 2 eine mittlere Gleichgewichtsfeuchte von 20 % nicht überschritten.
3) Die Nutzungsklasse 3 schließt auch Bauwerke ein, in denen sich höhere Gleichgewichtsfeuchten einstellen können.

Die Nutzungsklassen stehen für folgende Umgebungsbedingungen:

- Nutzungsklasse 1 (NKL 1): allseitig geschlossene und beheizte Bauwerke ($\varphi_i \leq 65\% \text{ r.F.}$),
- Nutzungsklasse 2 (NKL 2): überdachte offene Bauwerke ($\varphi_a \leq 85\% \text{ r.F.}$),
- Nutzungsklasse 3 (NKL 3): witterungsbeanspruchte Konstruktionen.

Anzumerken ist, dass technisch getrocknetes Konstruktionsvollholz ($15 \pm 3\%$) aus Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie mit Regellängen ≤ 13 m hergestellt wird. Derartige Regellängen können nur mit Keilzinkverbindungen erreicht werden. Keilgezinktes Vollholz darf nicht in ermüdungsbeanspruchten Konstruktionen eingesetzt werden [9]. Deshalb darf keilgezinktes Vollholz nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 Anwendung finden.

2.3 Eigenschaften von Holz

2.3.1 Natürliche Dauerhaftigkeit

Die natürliche Dauerhaftigkeit (auch als Resistenz bezeichnet) ist eine der wichtigsten Holzeigenschaften, wenn es um die Verwendung von Holz im Außenbereich geht. Bedingt durch den deutlichen Rückgang in der Verwendung von chemisch geschütztem Holz ist die natürliche Dauerhaftigkeit in den Fokus der Holzauswahl gerückt.

Unter der natürlichen Dauerhaftigkeit versteht man die Widerstandsfähigkeit des unbehandelten Holzes gegen einen Angriff durch Schadorganismen.

In DIN EN 350 wird die natürliche Dauerhaftigkeit für über einhundert für Europa bedeutende Holzarten benannt. Es wird unterschieden in die Dauerhaftigkeit gegen holzzerstörende Pilze, in die Dauerhaftigkeit gegenüber Larven von Trockenholz zerstörenden Käfern, die Dauerhaftigkeit gegen Termiten und die Dauerhaftigkeit gegen marine Organismen (Meerwasserschädlinge).

Für die Einteilung bedient man sich einer fünfstufigen Skala (DC 1 bis DC 5). Wichtig ist dabei, dass sich die Einteilung grundsätzlich nur auf das Kernholz bezieht. Das Splintholz gilt als nicht dauerhaft (DC 5). Tabelle 4 beschreibt die fünf Dauerhaftigkeitsklassen (DC) von Holz und Holzprodukten gegenüber dem Befall durch holzzerstörende Pilze.

Tabelle 4 ■ Dauerhaftigkeitsklassen (DC) von Holz und Holzprodukten gegenüber dem Befall durch holzzerstörende Pilze (aus DIN EN 350:2016-12, S. 10) [10]

Dauerhaftigkeitsklasse	Beschreibung
DC 1	sehr dauerhaft
DC 2	dauerhaft
DC 3	mäßig dauerhaft
DC 4	wenig dauerhaft
DC 5	nicht dauerhaft

Die Klassifizierung der natürlichen Dauerhaftigkeit basiert im Wesentlichen auf Versuchen im Freiland. Es ist darauf hinzuweisen, dass für chemisch geschütztes Holz keine Dauerhaftigkeitsklasse angegeben wird. Deren Wirksamkeit muss durch entsprechende Prüfprädikate und in der Erfüllung der Herstelleranforderungen des Holzschutzmittels an die Imprägnierqualität nachgewiesen werden.

Tabelle 5 benennt für das Kernholz ausgewählter Holzarten die Dauerhaftigkeitsklasse gegenüber dem Befall durch holzzerstörende Pilze.

Tabelle 5 ■ Beispiele für die Dauerhaftigkeit des Kernholzes ausgewählter Holzarten gegenüber dem Befall durch holzzerstörende Pilze (aus DIN EN 350) [10]

Holzart	Dauerhaftigkeitsklasse*)	
	X	Y
einheimische Nadelhölzer		
Fichte	4	4 bis 5
Kiefer	3 bis 4	2 bis 5
Tanne	4	4
Europäische Lärche	3 bis 4	3 bis 4
Douglasie (in der EU kultiviert)	3 bis 4	3 bis 5
einheimische Laubhölzer		
Eiche (Stiel-/Traubeneiche)	2	1 bis 2
Robinie (nicht tragend)	1 bis 2	1 bis 2
Rotbuche	5	4 bis 5
außereuropäische Hölzer		
Western Hemlock	4	—
Western Red Cedar (nordamerikanischer Herkunft)	2	—
Greenheart	1	—

*) X Ergebnisse, die Einbau in Erde simulieren
Y Ergebnisse gegenüber Basidiomyceten (Ständerpilze)

2.3.2 Quellen und Schwinden bei Vollholz

Holz ist ein hygroskopischer Baustoff. Er schwindet oder quillt, wenn sich die Holzfeuchte ändert. Dabei kommt es beim Schwinden zu einer Verminderung der Abmessungen und des Volumens, beim Quellen ist es umgekehrt.

Ein Schwinden von Holz setzt erst bei der Trocknung unterhalb der Fasersättigung ein. Bis dahin ist das Holz dimensionsstabil. Die Zellwände sind in diesem Zustand noch weitgehend mit Wasser gefüllt. Mit dem Schwinden geht auch ein Verformen und Reißen des Holzes einher.

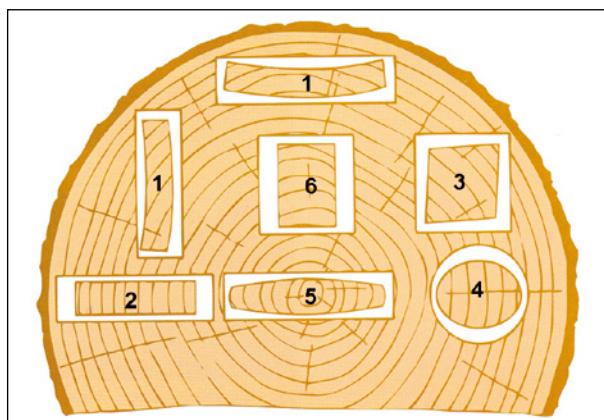
Aufgrund seines anisotropen Aufbaus unterscheiden sich die Quell- und Schwindmaße in den drei Haupt schnitt richtungen. In tangentialer Richtung ist das maximale Quell- beziehungsweise Schwindmaß mit circa 10 % ungefähr doppelt so hoch wie in radialer Richtung mit circa 5 %. In Längsrichtung (longitudinal) hingegen quillt und schwindet Holz nur minimal bis höchstens 0,3 bis 0,4 %. Dieser Unterschied fällt bei alten Dielenböden auch optisch auf. Während seitlich an den in Längsrichtung verlegten Dielen deutliche Fugen bestehen, sind am Hirnholzstoß der Dielen im Wesentlichen keine Fugen vorhanden.

Eine Auswahl an Rechenwerten der Schwind- und Quellmaße in % je 1 % Holzfeuchteänderung (auch als differentielles Schwindmaß bezeichnet) für einheimische und nichteinheimische Holzarten benennt Tabelle 6.

Tabelle 6 ▀ Differentielle Schwindmaße ausgewählter Holzarten (nach DIN 68100:2010-07) [11]

Holzart	Differentielles Schwindmaß V in % pro 1 % Holzfeuchteänderung		
	radial	tangential	mittel
Weißeiche	0,15 bis 0,22	0,28 bis 0,35	0,26
Esche	0,17 bis 0,21	0,27 bis 0,38	0,30
Buche	0,19 bis 0,22	0,38 bis 0,44	0,31
Fichte	0,15 bis 0,19	0,27 bis 0,36	0,29
Kiefer	0,15 bis 0,19	0,25 bis 0,36	0,28
Lärche	0,14 bis 0,18	0,28 bis 0,36	0,22
Douglasie	0,15 bis 0,19	0,24 bis 0,31	0,21
Dark red Meranti	0,14 bis 0,18	0,29 bis 0,34	0,18
Massaranduba	0,25 bis 0,38	0,36 bis 0,52	0,28
Bongossi (Azobé)	0,30 bis 0,31	0,40	0,36
Teak	0,13 bis 0,15	0,24 bis 0,29	0,21

Beim Schwinden kann es auch zu einer Verzerrung der Querschnitte kommen. Man spricht hier von Schwindformen (Bild 15). Besonders bei Seitenbrettern mit liegenden Jahrringen schwindet die linke Seite mehr als die rechte Seite. Dadurch wird die linke Seite hohl gezogen, sie schüsselt und die rechte Seite wird rund (Bild 16). Im Vergleich zu den Seitenbrettern verformen sich Bretter mit stehenden Jahrringen aus dem mittleren Stammteil am wenigsten (Riftbretter).



Legende:
1 Seitenbretter
2 Riftbretter
3 und 6 quadratische Querschnitte
4 kreisförmige Querschnitte
5 Brett mit Markröhre

Bild 15 ■ Schwindformen als Verformungsmuster in Abhängigkeit vom Jahrringverlauf (aus [12] nach US Forest Products Laboratory)

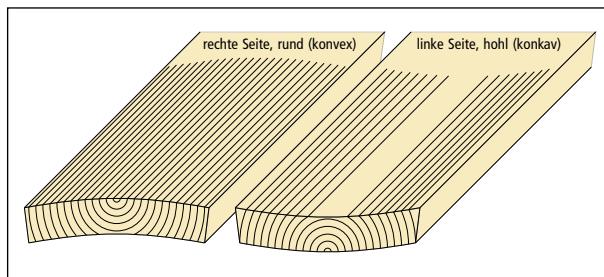


Bild 16 ■ Die linke und rechte Seite eines Bretts. Linke Seite: Die Mark abgewandte Seite zieht sich hohl. Rechte Seite: Die Mark zugewandte Seite zieht sich rund.

Um unzuträgliche Verformungen zu vermeiden, sollte ein Wechsel zwischen rechter und linker Seite erfolgen (Bild 17). Auch bedarf es der Beachtung der Verformung bei tragenden Hölzern, wenn diese auf Ausgleichsfeuchte abtrocknen (Bild 18).



Bild 17 ■ Duobalken im Wohnblockhaus begrenzen Verformungen und mindern Rissbildung, die rechte Seite ist jeweils außen.

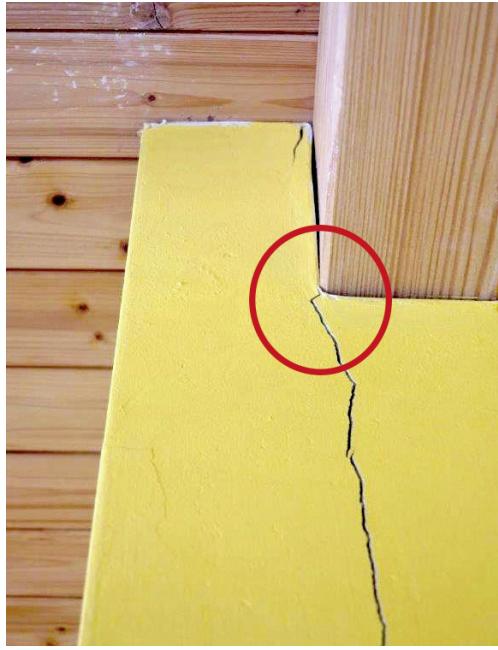


Bild 18 ■ Rissbildung im Mauerwerk durch trocknungsbedingte Verformung (Hohlziehen) des Deckenbalkens aus Konstruktionsvollholz (KvH)

2.4 Holzarten und deren Verwendung

2.4.1 Anwendungsbereiche im Bauwesen

Holz erfährt im Bauwesen unterschiedlichste Anwendungen. Einen Schwerpunkt stellen die Konstruktionshölzer für den Hoch-, Wasser- sowie Garten- und Landschaftsbau, aber auch für Tiefbauleistungen (Baugrubenverbau) dar.

Im Innenausbau dominiert die Anwendung von Vollholz für Fenster, Türen und Treppen. Dabei besitzt jede Holzart ihre eigenen spezifischen Eigenschaften.

Bei Hölzern für tragende Zwecke ist die CE-Kennzeichnung von Bauschnittholz Pflicht. Die Holzsortiernorm DIN 4074 ([13] [14]) enthält alle Anforderungen an die Festigkeitssortierung. Neben der maschinellen Sortierung ist auch noch die visuelle Sortierung zulässig. Bei der Holzsortierung werden alle Merkmale berücksichtigt, die Einfluss auf die Festigkeit haben. Das sind zum Beispiel Astabmessungen, Faserneigung, Rissbildung, Fäule oder Insektenfraß.

Am europäischen Markt werden in großer Anzahl europäische und außereuropäische (tropische) Holzarten gehandelt. Deutschland benötigt als waldreiches Land mit hohem Holzvorrat nicht zwingend Holzimporte. Dass dennoch außereuropäische Hölzer verwendet werden, hängt wesentlich mit der hohen Dauerhaftigkeit dieser Hölzer bei Bewitterung und Erdkontakt zusammen. Alternativen zum Tropenholz sind mit modifizierten Hölzern, wie Thermoholz (TMT) oder chemisch modifizierten Hölzern (CMT), am Markt bereits etabliert.

Im Folgenden werden kurz die wichtigsten einheimischen Nutzhölzer, aber auch eine Auswahl tropischer Hölzer vorgestellt. Deren typische Eigenschaften und die bevorzugte Anwendung werden benannt. Bei den außereuropäischen Hölzern ist ergänzend deren Herkunft mit angegeben.

2.4.2 Einheimische Nadel- und Laubhölzer

Die Charakterbäume des einheimischen Waldes sind die Eiche (niederrheinisch-westfälisches Gebiet), die Buche (nordwestliches Deutschland), die Linde (Süddeutschland), die Fichte (höheres mitteldeutsches Bergland) und die Kiefer (norddeutsche Ebene).

Als klassisches Bauholz gelten die einheimischen Nadelhölzer. Sie weisen einen relativ begrenzten Rohdichtebereich von 0,3 bis 0,6 g/cm³ auf, sind gut bearbeitbar sowie form- und dimensionsstabil (geringe Schwindung).

Der Einsatz einheimischer Laubhölzer ist im Bauwesen begrenzt. Sie gelten als Verwendungsspezialisten. Von den einheimischen Laubhölzern nachgefragt

sind besonders die Stieleiche (Sommereiche) und die Traubeneiche (Winter-eiche). Im Holz werden beide Arten jedoch nicht unterschieden.

Fichte (*Picea abies*)

Holzfarbe:	weißlich, zumeist gelblich weiß ohne Farbunterschied zwischen Splint- und Kernholz (Reifholzbaum); seidiger Glanz auf der gehobelten Fläche	
Eigenschaften:	weiches, relativ elastisches Holz; im Verhältnis zum relativ geringen Gewicht gute Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften; nach der Trocknung überwiegend gutes Stehvermögen und gute Bearbeitbarkeit; harziger Geruch im frischen Zustand; lässt sich natürlich und technisch rasch trocknen; unkompliziert beschichtbar; wenig dauerhaft (DC 4)	
Imprägnierbarkeit:	Kern- und Splintholz schwierig tränkbar	
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,44 - 0,46 - 0,47 \text{ g/cm}^3$ [10]	
Verwendung:	mit Abstand wichtigste einheimische Holzart; vielseitige Verwendung vom Bautischlerholz (Fenster/Türen) bis zum Brettschichtholzträger; druckimprägniert für Holzmasten; als Hackgut für plattenförmige Holzwerkstoffe	

Europäische Kiefer (*Pinus sylvestris*)

Holzfarbe:	Splint- und Kernholz farblich deutlich unterschiedlich; Splintholz gelblich weiß, Kernholz rötlich gelb; das Kernholz dunkelt unter Lichteinfluss zu einem intensiven rötlich braunen bis rotbraunen Alterston nach	
Eigenschaften:	mäßig hart, gute Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften; zumeist gutes Stehvermögen; harzhaltig; in der Regel einfache Bearbeitbarkeit, jedoch Erschwernis durch höheren Harzgehalt; das Kernholz ist mäßig bis wenig dauerhaft; das	

Splintholz ist nicht dauerhaft und dadurch pilz- sowie insektengefährdet; stark bläuepilzempfindlich

Imprägnierbarkeit: Splintholz gut tränkbar, Kernholz nur schwer tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,50 - 0,52 - 0,54 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: Bau- und Konstruktionsholz; druckimprägniert für Masten und Lärmschutzwände; Ausstattungsholz (Fenster, Treppen, Fußböden); zur Herstellung von Holzwerkstoffen (besonders OSB-Platten)

Tanne (*Abies alba*)

Holzfarbe: gelblich weiß bis fast weiß, öfter auch grauweiß, matt und glanzlos; ohne Farbunterschiede zwischen Splint- und Kernholz (Reifholz)



Eigenschaften: mit der Fichte vergleichbar (selbst für den Fachmann nicht immer leicht zu unterscheiden), aber bessere Imprägnierbarkeit; Harzkanäle, wie sie für Fichte, Kiefer, Lärche und Douglasie charakteristisch sind, fehlen; wenig dauerhaft (DC 4)

Imprägnierbarkeit: Splintholz mäßig tränkbar, Kernholz mäßig bis schwer tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,44 - 0,46 - 0,48 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: Bau- und Konstruktionsholz; manchmal weniger bevorzugt als Fichte wegen der grauweißen Farbe und der häufig vorkommenden Schwarzäste

Europäische Lärche (*Larix decidua*)

Holzfarbe: Splint- und Kernholz farblich unterschiedlich; Splintholz nur schmal von hellgelblicher bis rötlich gelber Farbe; Kernholz dekorativ rötlich braun und intensiv ins Rotbraun nachdunkelnd



Eigenschaften:	schwerstes und zugleich härtestes einheimisches Nadelholz (mit Ausnahme der Eibe); gute Festigkeits- und Elastizitätswerte; Stehvermögen mäßig bis befriedigend; sehr harzhaltig; meist gut bearbeitbar (Hobeln, Profilieren, Bohren); Neigung zu End- und Seitenrissen und zum Verwerfen; Kernholz witterungsbeständig; guter Beschichtungsträger; hohe Chemikalienbeständigkeit
Imprägnierbarkeit:	Splintholz mäßig tränkbar, Kernholz praktisch nicht tränkbar
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,47 - 0,60 - 0,65 \text{ g/cm}^3$ [10]
Verwendung:	Bau- und Konstruktionsholz für Holzbrücken, Fassadenelemente, Balkone, aber auch für den Innenausbau als Bautischlerholz für Treppen, Parkett- und Dielenböden; Spezialholz für Behälter zur Lagerung von Chemikalien; bevorzugte Holzart für die Herstellung von Holzschindeln

Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)

Holzfarbe:	Splint- und Kernholz farblich deutlich unterschiedlich: Splintholz gelblich bis rötlich weiß, Kernholz gelblich braun bis rötlich gelb, stark nachdunkelnd und der Lärche sehr ähnlich	
Eigenschaften:	relativ hartes Holz; Festigkeits-eigenschaften durchweg etwas höher als bei Fichte und Kiefer; schwer nagelbar; gutes Stehvermögen; harzhaltig; gleich gute Verarbeitungs- und Verleimungseigenschaften wie beim Kiefernholz; schnelles Jugendwachstum führt zu breiten Jahrringen; Kernholz mäßig dauerhaft	
Imprägnierbarkeit:	Splintholz mäßig bis schwer tränkbar; Kernholz praktisch unmöglich zu tränken	
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,47 - 0,51 - 0,52 \text{ g/cm}^3$, kultiviert in Europa [10] $\varsigma_{12} = 0,51 - 0,53 - 0,55 \text{ g/cm}^3$, Nordamerika [10]	
Verwendung:	Bau- und Konstruktionsholz (Außenbekleidungen, Balkone, Carport); Bautischlerholz für Dielenböden	

Stiel- oder Traubeneiche (*Quercus robur* bzw. *Q. petraea*)

Holzfarbe:	Splint- und Kernholz farblich deutlich unterschiedlich: meist schmales Splintholz von gelblich weißer Farbe, Kernholz hellbraun bis gelblich braun nachdunkelnd; auffällig breite Holzstrahlen im Radialschnitt	
Eigenschaften:	hartes Holz mit ausgezeichneten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften; hoher Abnutzungswiderstand; allgemein gutes Stehvermögen; leicht und sauber zu verarbeiten; bei Kontakt mit Eisen entstehen schwarze Reaktionsflecke in Verbindung mit Feuchtigkeit; vorsichtige Trocknung nötig, da eine Neigung zum Reißen, Werfen und Verfärbungen besteht; Kernholz ist dauerhaft und unter Wasser nahezu unbegrenzt haltbar; Splintholz ist pilz- und insektenanfällig	
Imprägnierbarkeit:	Splintholz einfach tränkbar; Kernholz praktisch unmöglich tränkbar	
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,67 - 0,71 - 0,76 \text{ g/cm}^3$ [10]	
Verwendung:	Bau- und Konstruktionsholz für hohe Beanspruchungen (Brückenbau, Fachwerkhäuser), Pfahlgründungen, Holzpfaster; Ausstattungs- und Bautischlerholz (wichtigstes Parkettholz, Türen/Tore, Treppen); Böttcherholz für Wein und Whisky	

Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

Holzfarbe:	Splint- und Kernholz teils gleichfarbig blassgelblich bis rötlich weiß; alte Bäume teilweise mit rotbrauner Kernfärbung (Rotkern als fakultative Verkernung); gedämpftes Holz ist rötlich braun	
Eigenschaften:	schweres Holz mit hohen Festigkeitseigenschaften (große Biege-, Schlagbiege-, Druck-, Schub- und Scherfestigkeit); große Härte; Abriebfestigkeit und Zähigkeit; stark schwindend mit geringem Stehvermögen; me-	

chanische Bearbeitung ohne Probleme; Neigung zum Reißen und Werfen; nach Dämpfen gut biegbar; nicht für die Außenanwendung geeignet

Imprägnierbarkeit: Splintholz und Kernholz gut tränkbar (der Rotkern praktisch nicht tränkbar)

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,69 - 0,71 - 0,75 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: wichtigstes einheimisches Laubholz; Hauptanwendungsbereich sind Treppen, Fußböden; Schälfurniere für Sperrholz; druckimprägniert für Bahnschwellen; Furnierschichtholz (Baubuche); rotkernige Buche nur für Möbelindustrie

Robinie (*Robinia pseudoaceacia*)



Holzfarbe: Splint- und Kernholz farblich voneinander abgesetzt: schmales, nur drei bis fünf Jahrringe breites Splintholz; Splintholz gelblich weiß bis gelblich, Kernholz gelblich grün oder gelblich braun bis hellbraun und unter Lichteinfluss goldbraun nachdunkelnd; matt glänzend

Eigenschaften: hartes Holz mit ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften, hoher Elastizität und großer Zähigkeit; hoher Abnutzungswiderstand; Vorbohren für Nägel und Schrauben notwendig; gutes Stehvermögen; relativ einfach bearbeitbar und biegbar sowie sehr gut zu polieren; sehr dauerhaftes Kernholz

Imprägnierbarkeit: Splintholz einfach tränkbar; Kernholz praktisch nicht tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,72 - 0,74 - 0,80 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: geringe verfügbare Menge und meist ungünstige Stammform, daher häufig beschränkt auf Pfahlholz für Kinderspielplätze; auch für Terrassendielen; selten für Innenausbau (Möbel)

Edelkastanie (*Castanea sativa*)

Holzfarbe:	Splint- und Kernholz deutlich voneinander abgesetzt: schmales, gelblich weißes, oft nur zwei bis fünf Jahrringe breites Splintholz; Kernholz gelblich braun bis dunkelbraun nachdunkelnd; der Eiche sehr ähnlich, aber durch das Fehlen breiter Holzstrahlen zu unterscheiden	
Eigenschaften:	ziemlich hart; stärker schwindend, jedoch nach der Trocknung gutes Stehvermögen; leichte und gute Verarbeitung; neigt zur Ringschäle; hohe natürliche Dauerhaftigkeit ähnlich der Eiche, aber geringere Festigkeit	
Imprägnierbarkeit:	Splintholz mäßig tränkbar; Kernholz nahezu nicht tränkbar	
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,54 - 0,59 - 0,65 \text{ g/cm}^3$ [10]	
Verwendung:	in Deutschland seltener (überwiegend in milden Weinbauklimalagen vorkommend, z.B. am östlichen Rand des Pfälzer Waldes); Hauptanwendung: Zäune (Staketenzaun) und gelegentlich als Bautischlerholz (Fensterläden, Pergolen); in Frankreich häufig für Parkett und Möbelholz; seit der Römerzeit Nutzung als Rebpfähle	

2.4.3 Außereuropäische Hölzer

Außereuropäische Hölzer sind überwiegend tropische Laubhölzer. Es gibt aber auch Nadelhölzer, die zum Beispiel unter dem Sammelbegriff Pitchpine geführt werden. Es handelt sich hierbei um schwere und kernholzreiche Kiefernholzarten, die überwiegend aus Mittelamerika importiert und gern als Fußbodendielung Verwendung finden.

Die farblichen Effekte der tropischen Hölzer sind häufig von besonderem Reiz; dazu kommen interessante Glanz- und Texturwirkungen. Die meisten Hölzer unter den tropischen Laubhölzern haben höhere Rohdichten und sind fein sowie dicht strukturiert, sodass eine hervorragende Oberflächenbehandlung möglich ist. Viele tropische Hölzer werden in Europa als schwere Konstruktionshölzer (zum Beispiel im Wasserbau) oder als Ausstattungsholz im hochwertigen Innenausbau eingesetzt.

Bangkirai (*Yellow Balau*)

Bangkirai ist ein Handelsname und Sammelbegriff für zahlreiche asiatische Holzarten. Zumeist wird unter Bangkirai die Baumart *Yellow Balau* verstanden, die in Indonesien als Bangkirai gehandelt wird.



Holzfarbe: Kernholz gelbbraun bis grünlich, später ins Bräunliche nachdunkelnd; Splintholz hellgrau bis blassgelblich

Eigenschaften: hohe Festigkeitswerte, aber große Feuchteverformung; nur befriedigendes Stehvermögen; schwierige maschinelle Bearbeitung; Neigung zu Oberflächenrissen; Auswaschung der Inhaltsstoffe, dauerhaft gegen Pilzbefall; vereinzelte Löcher von Frischholzinsekten sind unkritisch

Imprägnierbarkeit: kaum tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,70 - 0,93 - 1,15 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: Brücken- und Wasserbau, Kaianlagen, Terrassenbeläge, Schutzwände, Gartenmöbel

Herkunft: Südostasien
(z. B. Myanmar, Thailand, Malaysia, Indonesien)

Rotes Meranti

Meranti ist ein Handelssortiment für eine gemischte Holzartengruppe aus zahlreichen asiatischen *Shorea*-Arten. Zwischen den Arten bestehen insbesondere in der natürlichen Dauerhaftigkeit große Unterschiede. Für das Handelssortiment Rotes Meranti erfolgt eine praxisbezogene Einteilung in »Dark red Meranti« und »Light red Meranti«.

Light red meranti Dark red meranti

Holzfarbe: Light red meranti: Splint- und Kernholz rosa; Dark red meranti: Splintholz rosa-grau, Kernholz rotbraun



Eigenschaften: mittleres bis gutes Stehvermögen und geringe Feuchteverformung; gute Bearbeitbarkeit, problemlos zu nageln, zu schrauben, zu verleimen, gut beschichtbar; in Dichte, Farbe und Dauerhaftigkeit stark variables Holz (von wenig dauerhaft bis dauerhaft; Dark red meranti deutlich dauerhafter als Light red meranti); Rohdichte korreliert mit der Dauerhaftigkeit; oft kleine Fraßlöcher von Frischholzinsekten, die jedoch unkritisch sind (evtl. Schädlingslarven werden mit der technischen Trocknung abgetötet)



Imprägnierbarkeit: sehr schwer tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,49 - 0,52 - 0,55 \text{ g/cm}^3$ (Light red meranti) [10]
 $\varsigma_{12} = 0,60 - 0,68 - 0,73 \text{ g/cm}^3$ (Dark red meranti) [10]

Verwendung: überwiegend als verleimte Rohkanteln für Fenster und Türen, Treppen, sowie als Sperrholz für die Möbelfertigung

Herkunft: Südostasien, überwiegend Indonesien und Malaysia

Doussie (*Afzelia*)

Holzfarbe:	Splintholz gelblich grau; Kernholz im frischen Zustand hellbraun und später zu einem schönen rötlichen Braunton nachdunkelnd	
Eigenschaften:	große Härte und hohe Abriebfestigkeit; gutes Stehvermögen und geringe Schwindneigung; gute Bearbeitbarkeit, jedoch Werkzeuge schnell stumpfend; Kernholz sehr dauerhaft, termiten- und säurefest; durch Inhaltsstoffe hervorgerufene gelbliche Flecke können gelegentlich das Farbbild beeinträchtigen	
Imprägnierbarkeit:	sehr schwierig	
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,73 - 0,80 - 0,83 \text{ g/cm}^3$ [10] teilweise auch stärker streuend von 0,65 bis 0,95 g/cm ³	
Verwendung:	Fenster und Türen, hochwertige Parkettfußböden und Treppen, Behälter mit chemischen Inhalt	
Herkunft:	Westafrika (z. B. Kamerun, Nigeria)	

Bongossi (*Azobé*)

Holzfarbe:	Splintholz rötlich braun bis grau; Vorverkernungszone rotbraun, Kernholz rotbraun bis leicht violett	
Eigenschaften:	außerordentlich hohe Härte, erschwerte maschinelle Bearbeitung, zum Nageln und Schrauben Vorbohren erforderlich; hohe mechanische Festigkeit, große Schlagbiegefestigkeit; dauerhaftes Holz gegen Pilzangriff, aber ungewöhnlich hohes Ausmaß an Variabilität; bohrmuschelresistent; das breite »Zwischenholz« zwischen Kern- und Splintholz hat eine geringe natürliche Dauerhaftigkeit	
Imprägnierbarkeit:	Kernholz kaum tränkbar	
Rohdichte:	$\varsigma_{12} = 0,95 - 1,06 - 1,10 \text{ g/cm}^3$ [10]	

Verwendung: Wasser- und Hafenbau, Brückenbelag, Schwimmbäder, Lärmschutzwände, Fußböden in Industrieanlagen

Herkunft: Westafrika (z. B. Kamerun, Ghana)

Teak

Holzfarbe: Splintholz weißlich bis hellgrau; Kernholz im frischen Zustand grünlich gelb, goldbraun nachdunkelnd



Eigenschaften: Festigkeitseigenschaften ähnlich der Eiche; durch niedrige Schwindwerte außergewöhnlich gutes Stehvermögen; Oberfläche fettig durch Kautschukeinlagerungen; sehr gute Dauerhaftigkeit gegen Pilze, Insekten und Termiten; Einschränkungen in der Dauerhaftigkeit für Holz aus Aufforstungen (Plantagen) aufgrund relativ großer Schwankungen

Imprägnierbarkeit: Kernholz nur sehr schwer tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,65 - 0,68 - 0,75 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: Garten- und Landschaftsbau, Gartenmöbel, Bautischlerholz (Fenster, Türen), Schiffsbau vor allem für Decks und Aufbauten

Herkunft: Südostasien (z. B. Kambodscha, Thailand, Indonesien); auch in Westafrika (z. B. Nigeria) und Mittelamerika (z. B. Costa Rica) kultiviert

Bilinga

Holzfarbe: Splintholz weißlich bis hellgrau, Kernholz im frischen Zustand grünlich gelb, goldbraun nachdunkelnd



Eigenschaften: gute Festigkeitseigenschaften; gutes Stehvermögen, jedoch mögliche Beeinträchtigung durch unregelmäßigen Faserverlauf; Neigung

zu Oberflächenrissen; in hohem Maß widerstandsfähig gegen Pilzbefall

Imprägnierbarkeit: mittelmäßig tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 0,74 - 0,75 - 0,78 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: Vollholz im Außenbereich, Brückenbau, Wasserbau (sofern kein Bohrmuschelbefallsrisiko besteht), Parkett, bedingt für den Innenausbau (dann nur kurze Längen und Rifts)

Herkunft: West- und Zentralafrika (z.B. Elfenbeinküste, Zentralafrikanische Republik)

Massaranduba



Holzfarbe: Splintholz rötlich grau, Kernholz im frischen Zustand fleischrot (im englischen als »Beefwood« bezeichnet), purpurrotbraun nachdunkelnd

Eigenschaften: sehr schweres und hartes Holz, das zu den härtesten Nutzhölzern zählt (ähnlich Bongossi); Bearbeitung erschwert, Vorbohrung für Nägel und Schrauben erforderlich; Verklebung schwierig; stark schwindend; nur befriedigendes Stehvermögen; besonders träge in der Feuchteaufnahme und -abgabe; Neigung zum Verwerfen; glatt gehobelt für den Barfußbereich geeignet; äußerstwitterungsbeständig und sehr dauerhaft

Imprägnierbarkeit: kaum tränkbar

Rohdichte: $\varsigma_{12} = 1,00 - 1,10 - 1,15 \text{ g/cm}^3$ [10]

Verwendung: schweres Konstruktionsholz im Außenbereich, Brückenbau, Wasserbau (nur Süßwasser); Terrassendielen, einschließlich Unterkonstruktion; Schwimmstege; Lärm- und Sichtschutzwände; Fußböden in Werkhallen

Herkunft: nördliches bis südliches Südamerika (z.B. Brasilien, Kolumbien, Peru)

2.4.4 Modifizierte Hölzer

Als Modifizierung wird die durchgehende Vergütung von Holz bezeichnet. Dabei werden durch chemische und physikalische Veränderungen der Zellwände, wesentliche Eigenschaften über den gesamten Holzquerschnitt dauerhaft verändert [15].

Ziel der Modifizierung ist eine Erhöhung der Dauerhaftigkeit und des Stehvermögens (Dimensionsstabilität). Dadurch sollen einheimische oder in Europa kultivierte Hölzer, die eine geringe natürliche Dauerhaftigkeit aufweisen (zum Beispiel Fichte, Esche, Radiatakiefer), eine ähnliche Schutzwirkung gegenüber Schadorganismen erhalten, wie sie die tropischen Hölzer aufweisen. Der grundsätzliche Unterschied im Vergleich zur Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln besteht darin, dass keine Biozide eingesetzt werden und damit spätere Entsorgungsprobleme verringert werden. Die Schutzwirkung mittels Modifizierung soll durch eine geringere Feuchteaufnahme und eine veränderte chemische Zusammensetzung der Zellwand erreicht werden. Auch modifizierte Hölzer unterliegen der Altholzverordnung [16].

Zwei Modifizierungsverfahren sind am Markt etabliert (Bild 19): die thermische Modifizierung (TMT) und die chemische Modifizierung (CMT). Dabei hängt das Erreichen einer deutlich erhöhten Dauerhaftigkeit gegenüber dem unbehandelten Holz besonders vom Verfahren und der Behandlungsintensität ab. Bei der thermischen Modifizierung erfolgt nach DIN CEN/TS 15679 die Vergütung des Holzes durch eine Wärmebehandlung bei 160 bis 230°C [17]. Bei der chemischen Modifizierung hingegen werden Vergütungsstoffe in die Zellwände des durchtränkbaren Holzbereichs eingebracht. Es können also nur gut tränkbare Hölzer verwendet werden. Von technischer Bedeutung sind vor allem das Verfahren der Acetylierung (Tränkung mit Essigsäureanhydrid) und der Furfurylierung (Tränkung mit Furfurylalkohol).

Mit der Modifizierung werden die Holzeigenschaften verändert. Dem Vorteil, aus nicht oder wenig dauerhaften Holzarten Hölzer mit hoher Dauerhaftigkeit durch eine verringerte Feuchteaufnahme zu erschaffen, stehen auch Nachteile gegenüber. Hierbei sind vor allem strukturelle Veränderungen zu nennen, die die Festigkeit und Elastizität abnehmen lassen.

Besonders thermisch modifiziertes Holz ist spröder. Auch der schöne braune Holzfarbton bleibt bei Bewitterung nicht bestehen. Modifiziertes Holz vergraut genauso wie unbehandeltes Holz und auch Bläuepilze können das Holz verfärbten. Soll eine Vergrauung oder Verblauung verhindert werden, ist auch bei diesen Hölzern eine Beschichtung als Oberflächenschutz beziehungsweise ein Bläueschutz aufzubringen.



Bild 19 ■ Thermisch modifiziertes Holz (TMT) und chemisch modifiziertes Holz (CMT, hier Kebony)

Durch die veränderte Festigkeit und das Bruchverhalten der modifizierten Hölzer sind diese für tragende und aussteifende Bauteile im Wesentlichen nicht einsetzbar. Andernfalls ist ein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich.

Die wesentlichsten Einsatzgebiete für modifizierte Hölzer sind der Garten- und Landschaftsbau (zum Beispiel Pergolen, Pfähle, Sichtschutz, Palisaden und Bänke), zudem werden sie für Terrassenbeläge und als Profilbretter für Fassadenbekleidungen verwendet. Auch Fenster und Türen sowie Holzrollläden können wegen der verbesserten Dimensionsstabilität aus modifizierten Hölzern hergestellt werden. Beim Einsatz im Innenbereich (zum Beispiel Parkett) sind jedoch das Emissionsverhalten und eine mögliche Geruchswirkung zu beachten.

2.5 Holzwerkstoffe

Holzwerkstoffe sind besonders als Plattenmaterial ein fester Bestandteil im Bauwesen. Sie werden als tragende und nichttragende Holzwerkstoffe sowie für Sonderzwecke und als Wärmedämmstoff eingesetzt.

Hergestellt werden Holzwerkstoffe durch das Verpressen von Holzteilen mit Klebstoffen oder Bindemitteln (zum Beispiel Zement). Im Vergleich zum Massivholz können bei den aus Furnieren und Brettern hergestellten Holzwerkstoffen deutlich höhere Festigkeiten erreicht werden. Auch ist das Quellen und Schwinden zumeist kleiner als bei massivem Holz.

Eine Unterscheidung ist möglich nach Holzwerkstoffen

- auf Vollholzbasis (zum Beispiel Brettschichtholz und Massivholzplatten),
- auf Furnierbasis (zum Beispiel Sperrholz und Furnierschichtholz),
- auf Spanbasis (zum Beispiel OSB- und Spanplatten),

- auf Faserbasis (zum Beispiel Mitteldichte Faserplatte und Holzfaserdämmplatte),
- aus Verbundwerkstoff (zum Beispiel Stabsperrhholz).

Der Einsatz von Holzwerkstoffen ist vielfältig – von der statisch wirksamen Konstruktion als Dach-, Wand- und Deckenscheibe für Holzhäuser bis zur dekorativen Funktion im Innenausbau (Bild 20).

Neben den häufig im Innenbereich eingesetzten OSB- und Spanplatten werden gern auch Sperrhölzer aus Birke, Buche, Pappel, Fichte und Kiefer verwendet [18]. Dabei sind die Holzfurnierlagen wechselseitig miteinander verleimt.

Eine typische Anwendung von Sperrholz im Bauwesen ist der Einsatz als Fassadenelement (Bild 21). Dabei ist die Qualität des Furniers und die spezielle Auslobung der Platte für den Fassadeneinsatz durch den Hersteller ein wichtiges Kriterium für deren Gebrauchstauglichkeit. Andernfalls ist der Einsatz von Sperrhölzern, die der Bewitterung ausgesetzt sind, als kritisch anzusehen. Schwachpunkte sind besonders die Schnittkante und technologisch bedingte Schälrisse im Deckfurnier.

Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet für Holzwerkstoffplatten ist die Anwendung als tragende und aussteigende Dachschalung. Für die Metalldeckungen und Dachabdichtungen müssen die Platten eine Mindestdicke von 22 mm beziehungsweise 25 mm (bei 80 cm beziehungsweise 100 cm Spannweite) aufweisen. Tabelle 7 benennt in Abhängigkeit der Nutzungsklasse nach DIN EN 1995-1-1/NA [8] (siehe Kapitel Holzfeuchte) Holzwerkstoffplatten für die Anwendung als tragende Dachschalung. Anzumerken ist, dass nur solche Holzwerkstoffplatten eingebaut werden dürfen, die DIN EN 13986 [64] und DIN 20000-1 [65] entsprechen. Nicht genormte Platten benötigen eine europäisch-technische Zulassung (ETA).



Bild 20 ■ OSB-Platten als Beplankung für Wände



Bild 21 ■ Für die Fassade geeignetes Spezialsperrholz aus hochwertigen Furnieren, wasserfest verleimt und mit einem fugenlosen Deckfurnier aus einem Blatt

Tabelle 7 ■ Holzwerkstoffe und deren technische Klasse für den Einsatz als tragende und austreibende Dachschalung [27]

Holzwerkstoff	Technische Klasse	NKL 1 Trockenbereich	NKL 2 Feuchtbereich	NKL 3 Außenbereich
OSB-Platten ¹⁾	OSB/2 (tragend)	+	-	-
	OSB/3 (tragend)	+	+	-
	OSB/4 (hochbelastbar)	+	+	-
Spanplatten ¹⁾ (kunstharzgebunden)	P4 (tragend)	+	-	-
	P5 (tragend)	+	+	-
	P6 (hochbelastbar)	+	-	-
	P7 (hochbelastbar)	+	+	-
Sperrholzplatten ²⁾	EN 636-1	+	-	-
	EN 636-2	+	+	-
Massivholzplatten	SWP/1	+	-	-
	SWP/2	+	+	-
	SWP/3 ³⁾	+	+	(+)
Furnierschichtholz	LVL/1	+	-	-
	LVL/2	+	+	-
	LVL/3	+	+	(+) ⁴⁾
zementgebundene Spanplatten	Klasse 1	+	+	(+) ⁴⁾
	Klasse 2	+	+	(+) ⁴⁾

1) Span- und OSB-Platten sind in NKL 2 als Dachschalung verwendbar, wenn sie eine PMDI-Verklebung aufweisen

2) Festigkeits- und Steifigkeits-eigenschaften werden über bauaufsichtliche Zulassungen geregelt

3) Anwendung in NKL 3 ist abhängig von der Auswahl der Holzart und der Verklebung

4) Anwendung in NKL 3 erfordert einen gesonderten baurechtlichen Nachweis

2.6 Gefährdung durch Holzsäädlinge

2.6.1 Holzzerstörende und holzverfärbende Pilze

Im Hinblick auf die Holzsäädigung kann man die Pilze in holzzerstörende Pilze (Braun-, Weiß- und Moderfäuleerreger) und in holzverfärbende Pilze (Bläue- und Schimmelpilze) unterteilen. Die Unterscheidung ist wichtig, denn nur die holzzerstörenden Arten bauen Lignin, Cellulose und andere Holzbestandteile bis zur völligen Zerstörung des Holzes ab (Bild 22). Sie sind damit für die Festigkeit relevant.

Die holzverfärbenden Pilze hingegen greifen die Zellwände des Holzes nicht an. Sie führen zu keiner Fäulnis und erzeugen auch keine Festigkeitsverluste. Im Wesentlichen haben sie nur eine optische Bedeutung, weil sie das Aussehen des Holzes nachteilig verändern, aber auch Beschichtungen unterwandern können (Bläuepilze) und so die Lebensdauer der Anstriche verkürzen.



Bild 22 ▪ Vom Weißen Porenchwamm als Holzzerstörer überwachsene Holzkonstruktion im Altbau

Taxonomisch und morphologisch werden Pilze in verschiedene Abteilungen gegliedert. Von besonderer Bedeutung sind:

- Basidiomyceten (Ständerpilze), z. B. Brauner Kellerschwamm,
- Ascomyceten (Schlauchpilze), z. B. Becherlinge,
- Deuteromyceten (Fungi imperfecti), z. B. Bläue- und Schimmelpilze.

Die Basidiomyceten sind in der Lage, die Hauptbestandteile des Holzes (Lignin, Cellulose, Hemicellulose) enzymatisch abzubauen und große Fruchtkörper auszubilden, in deren Fruchtschicht (Hymenium) Basidiosporen heranreifen. Diese keimen auf günstigem Nährboden bei geeigneten Bedingungen aus.

Die Vermehrung (Fortpflanzung) der Basidiomyceten kann geschlechtlich oder ungeschlechtlich erfolgen. Bild 23 zeigt die Fortpflanzung von den Sporen bis zum Fruchtkörper.

Aus den Hyphen (Zellfäden) entstehen durch deren Vernetzung ein Hyphengeflecht, das Myzel, und durch die Zusammenlagerung vieler parallel verlaufender Hyphen entstehen die Stränge. Schließlich werden durch die Verklebung von Pilzhyphen Fruchtkörper gebildet.

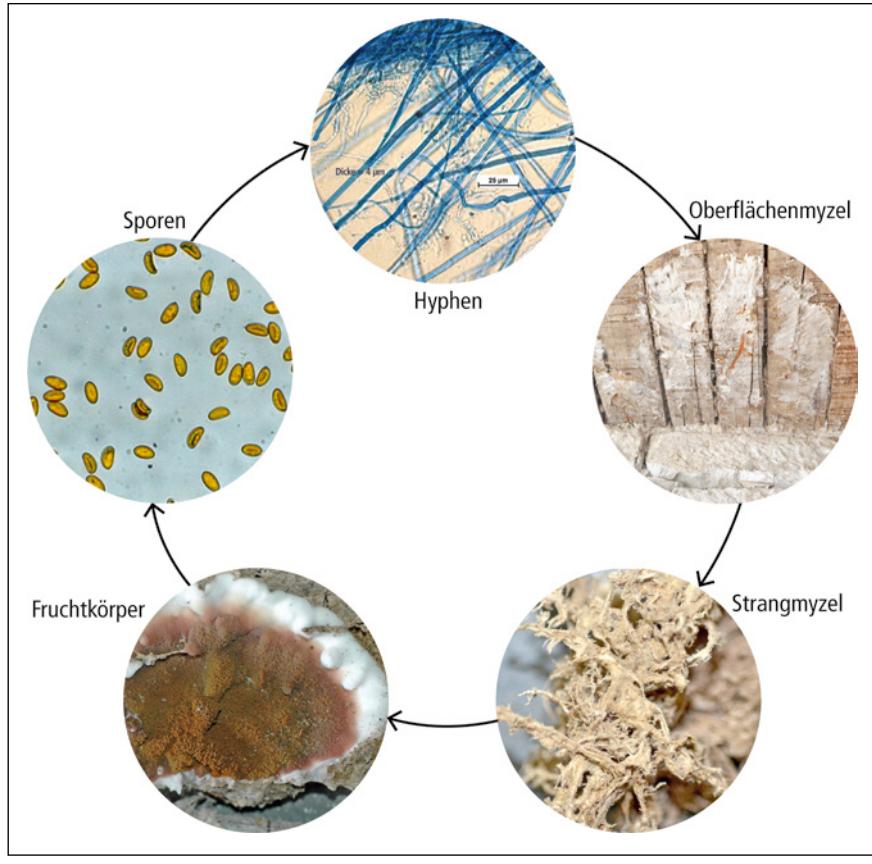


Bild 23 ■ Fortpflanzung von holzzerstörenden Basidiomyceten von den Sporen, Hyphen, Myzellen bis zu den Fruchtkörpern am Beispiel des Echten Hausschwamms (Fotos von Sporen und Hyphen: Björn Weiß, Dresden).

Aus holzschutztechnischer Sicht werden die holzzerstörenden Pilze in Braunfäule, Weißfäule und Moderfäule eingeteilt [19]. Tabelle 8 fasst die wichtigsten Merkmale zusammen.

Tabelle 8 ■ Fäuletypen und deren Merkmale sowie eine Auswahl an Vertretern

Fäule-typ	abgebaute Holz-bestandteile	Merkmale	Arten
Braun-fäule	Cellulose und Hemicellulose	<ul style="list-style-type: none"> ■ braune Verfärbung des Holzes aufgrund des zurückbleibenden Lignins (Bild 24) ■ Rohdichte- und Festigkeitsminderungen bis zur vollständigen Zerstörung ■ Würfelbruch (Risse im Holz parallel und längs zur Faserrichtung aufgrund von Schwinderscheinungen), die Würfelbruchgröße ist pilzartenabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Echter Haus-schwamm ■ Brauner Keller-schwamm ■ Weißer Poren-schwamm ■ Blättinge
Weiß-fäule	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lignin ■ Cellulose ■ Hemi-cellulose 	<ul style="list-style-type: none"> ■ helle bis weiße Verfärbung des Holzes, häufig Bildung von Grenzlinien (Bild 25) ■ faserige Auflockerung des Holzes ■ Rohdichte- und Festigkeitsminderung ■ in der Regel selteneres Auftreten innerhalb von Gebäuden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ im Gebäude: Ausgebreiteter Hausporling ■ im Freien: Schmetterlingsporling
		<p>Sonderform Weißlochfäule:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ lokal starker Abbau von Lignin ■ längliche Löcher im Holz mit Celluloseresten sichtbar (Bild 26) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ an lebenden Bäumen: Kiefernbaum-schwamm
Moder-fäule	Cellulose	<ul style="list-style-type: none"> ■ dunkle und schmierige Holzoberfläche ■ sehr feiner Würfelbruch (Bild 27) ■ Auftreten besonders bei sehr hohen Holzfeuchten, Erdkontakt und starken Verschmutzungen ■ nur mikroskopisch durch Kavernen in den Holzzellen sicher nachweisbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ große Artenanzahl, z.B. <i>Chaetomium globosum</i>

**Bild 24** ■ Braunfäule: typischer Würfelbruch von wenigen Millimetern bis mehreren Zentimetern und braun verfärbtes Holz durch das Zurückbleiben von braunem Lignin



Bild 25 ■ Weißfäule:
hell bis weiß verfärbtes
Holz mit dunkelgefärbten
Grenzlinien



Bild 26 ■ Weißlochfäule:
Längliche Löcher im Holz
sind mit Celluloseresten
ausgefüllt.



Bild 27 ■ Moderfäule:
Dunkle Holzoberfläche –
nach Austrocknung
entsteht ein sehr
feiner Würfelbruch im
Millimeterbereich.

2.6.1.1 Übersicht über die wichtigsten Pilze im Gebäude

In den nachfolgenden Tabellen werden Schadpilze im und am Gebäude beschrieben. Die genannten Arten stellen aus der praktischen Erfahrung des Autors die wichtigsten Vertreter für das Gebäude dar. Neben den aufgeführten Arten gibt es jedoch noch eine große Anzahl weiterer Pilze, die Schäden verursachen, aber in der Regel weniger bekannt sind (zum Beispiel die Samtige Tramete am Fensterholz).

Grundvoraussetzung für den Pilzbefall durch Holzzerstörer ist eine unzuträgliche Holzfeuchte über einen längeren Zeitraum (ca. 3 Monate). Ohne entsprechende Feuchtebedingungen entsteht auch kein Pilzbefall.

Für die vorgestellten Arten erfolgt eine Unterteilung in holzzerstörende Pilze (Tabelle 9 bis Tabelle 13) und holzverfärbende Pilze (Tabelle 15 und Tabelle 16).

Tabelle 9 ■ Echter Hausschwamm (holzzerstörender Pilz) [19] [20] [21]

Echter Hausschwamm (<i>Serpula lacrymans</i>)	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
<p>Vorkommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ in Gebäuden, vorwiegend in Altbauten, bevorzugt in Keller, Erdgeschoss und an der Dachtraufe ■ häufig hinter Bekleidungen und Türrahmen wachsend (erkennbar an verformtem und »rundrückigem« Holz) (Bild 28) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ gefährlichster Gebäude-schädling ■ erfordert besondere Sanierungsmaßnahmen (besonders aufwendig zu bekämpfen), ■ kann sich meterweit ausbreiten und Wasser durch sein entwickeltes Oberflächen- und Strangsystem trans-portieren ■ benötigt zu seiner Entwicklung circa 30 % Holzfeuchte, für seine Ausbreitung auch weniger ■ versteckte Lebensweise ■ geht bei Austrocknung in Trockenstarre ■ bildet Arthrosporen für die Überdauerung
<p>Fäulebild:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Braunfäule: braun verfärbtes und grob würfelartig gebrochenes Holz/grober Würfelbruch (Bild 29) 	
<p>Oberflächenmyzel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ in frischem Zustand watteartig weiß, später schmutzig grau ■ dicke Myzelpolster bildend, die sich leicht vom Untergrund abziehen lassen (Bild 30) 	
<p>Myzelstränge:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ weiß bis grau, dünn bis bleistiftdick (Bild 31) ■ bricht im trockenen Zustand mit knackendem Geräusch, Stränge von lappigem Zwischenmyzel umwachsen ■ Myzel wächst versteckt in Mauerwerk und Schüttungen und kann Mauerwerk durchwachsen 	
<p>Fruchtkörper:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ rotbraun mit weißem Zuwachsrand, bis ~1 m² Größe und 1 bis 3 cm dick (Bild 32), am Untergrund flach anliegend ■ gelegentlich Bildung von Wassertropfen (Guttationstropfen) (Bild 33) ■ große Mengen an Sporen (Bild 34) ■ alte Fruchtkörper sind schwarzbraun und relativ unauffällig (Bild 35) 	



Bild 28 ▪ Türbekleidung:
Der Echte Hausschwamm
ist versteckt hinter der
Zarge gewachsen, die
»rundrückige« Ver-
formung des Holzes gibt
einen Hinweis auf den
Befall.



Bild 29 ▪ Großer Würfelbruch als
typisches Merkmal für den Echten
Hausschwamm

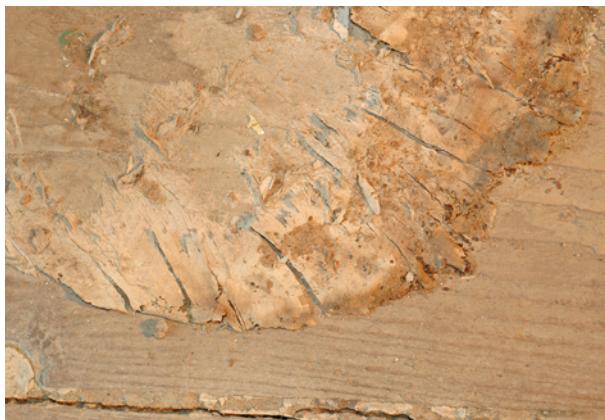


Bild 30 ▪ Lappiges Oberflächenmyzel des Echten Hausschwamms. Es lässt sich leicht vom Untergrund abziehen.



Bild 31 ▪ Ausdifferenzierte Stränge des Echten Hausschwamms. Sie dienen der schnellen Ausbreitung des Pilzes und ermöglichen die Nährstoff- und Wasserversorgung.



Bild 32 ▪ Fruchtkörper des Echten Hausschwamms mit der braunen Fruchtschicht und dem weißen Zuwachsrand. Innerhalb der Fruchtschicht entwickeln sich die Sporen.



Bild 33 ■ Guttations-tropfen am Haus-schwammyzel. Sie sorgen für ein günstiges Mikroklima und befördern das Pilzwachstum.



Bild 34 ■ Aus dem Fruchtkörper ausgefallene braune Sporen des Echten Hausschwamms. Sie werden durch Windzug, durch die Raumnutzer an den Schuhen etc. verbreitet.



Bild 35 ■ Unschein-barer Altfruchtkörper des Echten Hausschwamms am Kellermauerwerk

Tabelle 10 ■ Brauner Kellerschwamm (holzzerstörender Pilz) [19] [20] [21]

Brauner Kellerschwamm (<i>Coniophora spp.</i> , <i>Coniophora puteana</i>)	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
Vorkommen: ■ an feuchtem Holz, bevorzugt Nadelholz ■ vom Keller bis zum Dachgeschoss, aber besonders im Bereich feuchter Mauern/Balkenköpfe (Bild 36)	■ relativ häufig vorkommend ■ gilt als Wegbereiter des Echten Hausschwamms ■ sehr schnellwüchsig ■ eine weitere häufige Art ist der Marmorierte Kellerschwamm (<i>Coniophora marmorata</i>) (Bild 41)
Fäulebild: ■ Braunfäule mit relativ kleinem Würfelbruch (Bild 37)	
Oberflächenmyzel: ■ anfangs weißlich, später dunkel- bis schwarzbraun (Bild 38) ■ eher weniger vorhanden	
Myzelstränge: ■ erst weißlich, dann braun, später schwarz ■ zwirnsfadendünn ■ wurzelähnlich verzweigt, fest auf dem Substrat anhaftend (Bild 39) ■ entstehen relativ schnell	
Fruchtkörper: ■ werden seltener ausgebildet, Fruchtkörper werden fast nur am nassen Holz gebildet ■ flach am Substrat anliegend ■ hell bis dunkelbraun, während des Wachstums mit gelblichem Zuwachsrand, an der Oberseite sind kleine warzenförmige Erhebungen (\varnothing 5 mm) charakteristisch, die auch, wenn auch selten, fehlen können (Bild 40)	

**Bild 36** ■ Befall durch den Brauner Kellerschwamm an einer stark durchfeuchteten Holzbalkendecke mit Fruchtkörperbildung



Bild 37 ■ Fäulebild des Brauen Kellerschwamms:
Würfelbruchlänge von 1 bis 2 cm (Foto: Björn Weiß, Dresden)



Bild 38 ■ Dunkles Oberflächenmyzel des Brauen Kellerschwamms

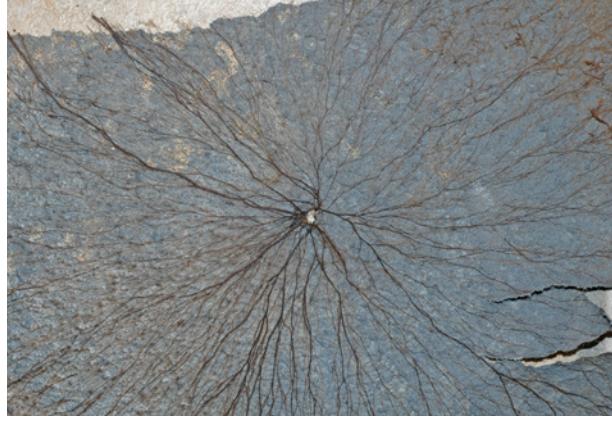


Bild 39 ■ Die schwarzen, zwirnsfadendünnen Myzelstränge des Brauen Kellerschwamms haben auch eine Abdichtungsschicht im Bereich einer häuslichen Dusche überwachsen.



Bild 40 ■ Brauner Fruchtkörper mit weißem Rand des Braunen Kellerschwamms im Bereich einer Einregenstelle am Dach



Bild 41 ■ Junges Myzel des Marmorierten Kellerschwamms am Kellerfußboden

Tabelle 11 ■ Weißer Porenschwamm (holzzerstörender Pilz) [19] [20] [21]

Weißer Porenschwamm (<i>Antrodia vaillantii</i>)	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
Vorkommen: ■ in Gebäuden an sehr nassem Holz ■ auch im Freien (z.B. an Palisaden) ■ bevorzugt Nadelholz (besonders Fichte)	■ häufiger Bauholzpilz ■ Trockenstarre über viele Jahre möglich ■ hohe Kupfertoleranz gegenüber kupferhaltigen Holzschutzmitteln ■ ähnliche Arten sind der Schmalsporige Weiße Porenschwamm (Bild 46), der Gelbe Porenschwamm (Bild 47) und der Rosaarbene Saftporling, die ebenfalls eine Braunfäule erzeugen und unter der Bezeichnung Poreschwämme zusammengefasst werden
Fäulebild: ■ Braunfäule ■ etwas kleinerer Würfelbruch (Bild 42)	
Oberflächenmyzel: ■ bildet lockeres, weißes dichtes Luftmyzel ■ watte- und eisblumenartig ■ Myzelfarbe reinweiß, auch im Alter (Bild 43)	
Myzelstränge: ■ zur Strangbildung neigend, bindfadenartig (bis 3 mm dick) ■ reinweiß, auch im getrockneten Zustand biegsam ■ kann Mauerwerk durchwachsen (Bild 44)	
Fruchtkörper: ■ weiße, harte, korkartige Leisten ■ deutlich erkennbare Röhren mit eckigen Porenöffnungen (Bild 45)	

**Bild 42** ■ Fäulebild des Weißen Poreschwamms mit kleinerem Würfelbruch



Bild 43 ■ Eisblumenartiges, schneeweißes Oberflächenmyzel des Weißen Porenschwamms



Bild 44 ■ Bindfadendicke Myzelstränge des Weißen Porenschwamms: Die Stränge bleiben auch im trockenen Zustand bieg-sam und weiß.



Bild 45 ■ Frucht-körper des Weißen Porenschwamms mit Poreschicht



Bild 46 ▪ Alter vergilbter und bräunlich verfärbter Fruchtkörper des Schmalporigen Weißen Poren-schwamms versteckt hinter einer abgehängten Trockenbaudecke



Bild 47 ▪ Frisches Oberflächenmyzel des Gelben Porenschwamms

Tabelle 12 ■ Ausgebreiteter Hausporling (holzzerstörender Pilz) [19] [20] [21]

Ausgebreiteter Hausporling (<i>Donkioporia expansa</i>)	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
<p>Vorkommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ an Deckenbalken und Fachwerk ■ bevorzugt an Fichten- und Kiefernholz, häufig auch an Eichenholz (z.B. Brücken) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hausfäuleerreger, der keine Stränge bildet ■ gern mit Nagekäfern vergesellschaftet ■ territorial unterschiedliches Vorkommen
<p>Fäulebild:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Weißfäule ■ Holz wird streifig zersetzt: ■ abgebaute Holzfasern wechseln mit braun gefärbten weniger befallenen Holzfasern ab (Bild 48) 	
<p>Oberflächenmyzel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ weiß bis cremefarbig (meist zweifarbig) ■ dicht/kompakt ■ großflächige und dicke Myzelpolster (Bild 49) 	
<p>Fruchtkörper:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ vielgestaltig von bräunlicher Farbe ■ häufig sehr groß ($\varnothing \geq 20$ cm) bis 2,5 cm dick (Bild 50) ■ häufig mehrschichtig ■ fest und hart 	



Bild 48 ■ Typische Weißfäule als Fäulebild des Ausgebreiteten Hausporlings



Bild 49 ■ Weißes, cremeartiges Oberflächenmyzel des Ausgebreiteten Hausporlings (an Schaumstoff erinnernd)



Bild 50 ■ Großer Fruchtkörper des Ausgebreiteten Hausporlings (Oberseite)

Tabelle 13 ■ Blättlingsarten (holzzerstörende Pilze) [19] [20] [21]

		Tannenblättling (<i>Gloeophyllum abietinum</i>) Zaunblättling (<i>Gloeophyllum sepiarium</i>) Balkenblättling (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)
Vorkommen und Charakterisierung		Hinweise
Vorkommen:	<ul style="list-style-type: none"> ■ im Freien an Zäunen, Balkonen, Spielplatzgeräten, ■ Tannen- und Zaunblättling nur an Nadelholz; der Zaunblättling bevorzugt Kiefer (häufig an Fenstern) ■ Balkenblättling auch an Laubholz vorkommend 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Substratpilz der eine Innenfäule erzeugt ■ Schaden wird erst sichtbar mit dem Erscheinen der Fruchtkörper an der Holzoberfläche
Fäulebild:	<ul style="list-style-type: none"> ■ Braunfäule mit feinem, aber auch großem Würfelbruch 	<ul style="list-style-type: none"> ■ in Deutschland ist der Tannenblättling ein häufig vorkommender Pilz; Balkenblättling eher selten
Oberflächenmyzel:	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei Innenfäulen ist häufig kein Myzel vorhanden (Bild 51) ■ beim Tannenblättling kurz und dicht, weißlich bis bräunlich ■ beim Zaunblättling locker und weiß (wie gepudert) ■ beim Balkenblättling dicht, gelblich bis ockerfarben 	<ul style="list-style-type: none"> ■ die Artunterscheidung erfolgt durch die Anzahl der Leisten oder Poren je Zentimeter ■ typische Myzelstränge fehlen
Fruchtkörper:	<ul style="list-style-type: none"> ■ in Muschel- oder Leistenform, meist aus Trockenrissen wachsend ■ lederähnlich, zäh, biegsam ■ Unterseite mit Lamellen (Bild 52 und Bild 53) ■ bei Lichtmangel Dunkelfruchtformen als filzige Myzelpolster mit stiftförmigen Erhebungen bildend (Bild 54) 	

**Bild 51** ■ Von den Blättlingen häufig erzeugte kritische Innenfäule als Braunfäule. Die Außenseite der Holzbohle erscheint visuell noch intakt.



Bild 52 ■ Fruchtkörper des Tannenblättlings, der aus einem Holzriss an einem Handlauf herauswächst



Bild 53 ■ Fruchtkörper des Tannenblättlings als übereinander stehende Konsole an einem Zaun mit bereits deutlich sichtbarer Zerstörung der Holzsubstanz



Bild 54 ■ Bei Lichtmangel gebildete Dunkelfruchtform des Tannenblättlings. Es besteht keine Ähnlichkeit zur Lichtform.

Tabelle 14 ■ Muschelkrempling (holzzerstörender Pilz) [19] [20] [21]

Muschelkrempling (<i>Paxillus panuoides</i>)	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
<p>Vorkommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ befällt sehr feuchtes Holz im Freien (Lagerfäuleerreger), wie z. B. Pfähle ■ an Nadelholz vorkommend, nur gelegentlich in Gebäuden, dann besonders in Bädern und Kellern 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ebenso im Wald vorkommend (Baumstümpfe) ■ langsamwüchsig ■ selten an Laubholz, in den letzten Jahren vermehrte Feststellung in Bädern auf Holzbalkendecken mit Abdichtungs mängeln
<p>Fäulebild:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ befallenes Holz verfärbt sich anfangs gelb, später rotbraun ■ im Endstadium typische Braunfäule mit Würfelbruch (Bild 55) 	
<p>Oberflächenmyzel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ spärlich vorkommend ■ anfangs gelb weißlich, bald lehmgelb ■ meist nur bindfadendick 	
<p>Myzelstränge:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ gelblich bis lehmfarben ■ stark verzweigt (Bild 56) 	
<p>Fruchtkörper:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ variabel in Abhängigkeit vom Alter von gelblich, lederbraun bis grau-olivgrün ■ Hut muschel- bis fächerförmig mit eingerolltem Hutrand ■ seitlich angewachsener Stiel (Bild 57) 	



Bild 55 ■ Braunfäule als Fäulebild des Muschelkremplings



Bild 56 ■ Lehmfarbene Stränge und Myzel des Muschelkremplings auf einer Spanplatte, die sich unterhalb einer undichten Duschtasse befand



Bild 57 ■ Fruchtkörper des Muschelkremplings mit eingerolltem Hutrand

Tabelle 15 ■ Bläuepilze (holzverfärbende Pilze) [19] [20] [21]

Bläuepilze	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
Vorkommen: ■ an Nadel- und Laubholz, besonders am Splintholz	<ul style="list-style-type: none"> ■ kennzeichnendes Merkmal ist die Verfärbung des Splintholzes ■ unterschieden wird in: <ul style="list-style-type: none"> ■ Stammholzbläue am stehenden Stamm oder Rundholz (Bild 59), ■ Schnittholzbläue auf Lagerplätzen (Bild 60) und in Anstrichbläue an beschichtetem Holz nach Wiederbefeuertung infolge von Beschichtungsschäden ■ Bläuepilze benötigen hohe Holzfeuchten ■ es sind mehr als 100 verschiedene Bläuepilzarten bekannt ■ wichtige Gattungen: <i>Aureobasidium</i> spp. und <i>Ophiostoma</i> spp.
Schadbild: ■ blaue bis grauschwarze Verfärbung als Streifen und Flecken (Bild 58) ■ keine Holzzerstörung, nur Verfärbung	
Oberflächenmyzel: ■ meist dunkelbraun bis schwarz	
Fruchtkörper: ■ klein mit rundlicher bis flaschenförmiger Gestalt	



Bild 58 ■ Blau bis grau-schwarze Verfärbung des Splintholzes von Kiefer durch Bläuepilze. Das rötl- liche Farbkernholz zeigt keinen Befall.



Bild 59 ■ Im Wald lagerndes Rundholz, das durch Stammholzbläue verfärbt ist. Die Sporen der Bläuepilze dringen an Wunden in das Holz ein.



Bild 60 ■ Schnittholzbläue am Holzquerschnitt mit blauen Streifen, die radial der Ausrichtung der Holzstrahlen folgen

Tabelle 16 ■ Schimmelpilze (holzverfärbende Pilze) [19] [20] [21]

Schimmelpilze	
Vorkommen und Charakterisierung	Hinweise
Vorkommen: <ul style="list-style-type: none"> ■ nicht holzspezifisch ■ wachsen auf sehr vielen feuchten Materialien (z.B. Trockenbau) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schimmelpilze können zusätzlich gesundheitliche Problem hervorrufen
Schadbild: <ul style="list-style-type: none"> ■ graue bis schwarze Verfärbung des Holzes (Bild 61), Befall zu meist oberflächlich, nur geringe Eindringtiefen in den Holzkörper (bis circa 0,5 mm tief) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ häufige Gattungen auf Holz sind: <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Penicillium</i> spp. (Bild 62) ■ <i>Alternaria</i> spp. (Bild 63) ■ <i>Cladosporium</i> spp. (Bild 64)
Oberflächenmyzel: <ul style="list-style-type: none"> ■ artabhängig von grün bis schwarz, bei feuchten Oberflächen bildet sich schnell ein Schimmelrasen 	
Fruchtkörper: <ul style="list-style-type: none"> ■ mikroskopisch klein und flächig 	

**Bild 61** ■ Der Schimmelbefall hat die Holzoberfläche grau verfärbt.

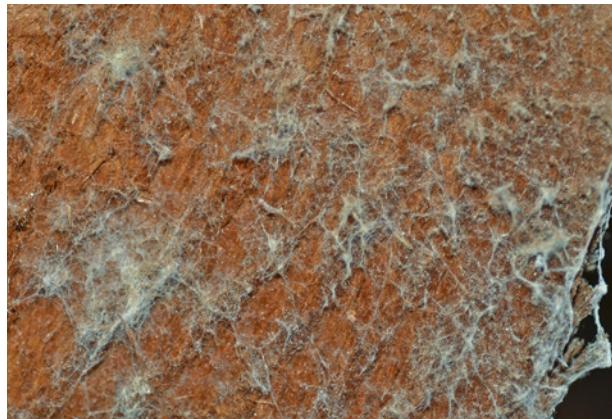


Bild 62 ■ Schimmel-pilzmyzel der Gattung *Penicillium* auf der Holzoberfläche

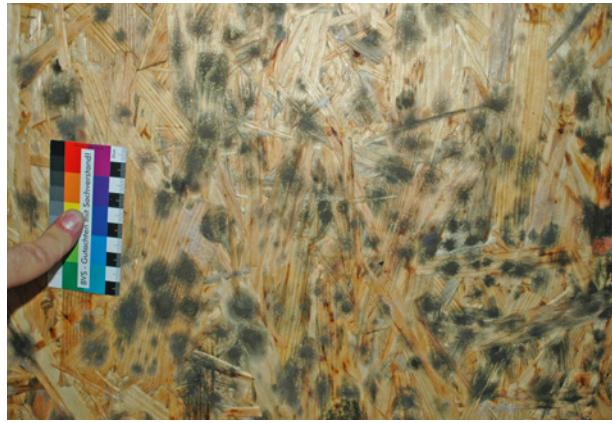


Bild 63 ■ Kräftig dunkler Schimmelrasen der Art *Alternaria alternata* auf einer OSB-Platte



Bild 64 ■ Schimmelpilz der Gattung *Cladosporium* spp. am Dachstuhl aus Konstruktionsvollholz

2.6.2 Holzzerstörende Insekten

Neben den Pilzen sind Insekten bedeutende Holzzerstörer (Bild 65). Die größte Bedeutung als Holzschädlinge besitzen in unserer gemäßigten Klimazone die Käfer (Ordnung Coleoptera), in den tropischen Regionen sind es die Termiten (Ordnung Isoptera). Von den Hautflüglern (Ordnung Hymenoptera) gehören nur wenige Familien, zum Beispiel Holzwespen und Ameisen, zu den holzschädigenden Insekten.

Holz zerstörende Insekten nutzen verbautes Holz als Lebensraum und Nahrung und verbringen einen Großteil ihres Lebens beziehungsweise ihres Entwicklungskreislaufs im Holz. Als ursprüngliche Forstinsekten haben einige Arten ihre ökologische Nische im Bauwerk gefunden.



Bild 65 ■ Durch den Gewöhnlichen Nagekäfer zerstörte Holzsubstanz an Sparrenfuß und Deckenbalkenkopf

Eine Beziehung zum Feuchtezustand des Holzes besitzen fast alle Holzinsekten. Hierauf begründet sich deren Einteilung in Trockenholz-, Frischholz- sowie Feucht- und Faulholzinsekten. Die Übergänge zwischen diesen ökologischen Gruppen sind fließend.

Trockenholzinsekten entwickeln sich im trockenen Bau- und Werkholz in Holzlagern und in Gebäuden. Sie vollziehen ihre gesamte Entwicklung in diesem Holz. Sie befallen ausschließlich trockenes Holz. Zu den typischen Vertretern der Trockenholzinsekten gehören der Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus* L.), der Gewöhnliche Nagekäfer (*Anobium punctatum* DeGeer) sowie die Familie der Splintholzkäfer (Lyctidae), die den geringsten Feuchteanspruch stellen.

Zu den Frischholzinsekten werden solche Arten gezählt, die lebende Bäume mit baumsaftbedingter hoher Holzfeuchte befallen beziehungsweise absterbendes oder frisch gefälltes Holz aufsuchen. Eine große Anzahl im Wald

lebender Borkenkäfer (Familie Curculionidae, Unterfamilie Scolytinae), viele Bockkäferarten (Familie Cerambycidae) sowie die Holzwespen (Familie Siricidae) charakterisieren diese Gruppe. Einige Arten, wie die Holzwespen, können ihre Entwicklung zum Vollinsekt auch im abtrocknenden Holz fortsetzen.

Die Feuchtholzinsekten sind auf eine Feuchtequelle angewiesen und gehen zumeist mit einem beginnenden Pilzbefall einher. Häufig treten sie an Holz auf, das ungeschützt der Feuchtigkeit ausgesetzt ist. Zu diesen Schadinsekten gehören zum Beispiel Rüsselkäferarten (Familie Curculionidae) oder der Rote Halsbock (Familie Cerambycidae). Die Vertreter der Faulholzinsekten hingegen können sich nur von sich mehr oder weniger zersetzendem oder in Fäulnis übergehendem Holz ernähren. Hierzu gehört im Wesentlichen der inzwischen sehr seltene Mulmbock (Familie Cerambycidae).

Entwicklung und Lebensbedingungen

Die meisten holzschädigenden Insekten durchlaufen die Entwicklungsstadien vom Ei zur Larve über die Puppe zum Vollinsekt (Imago). Die Entwicklungs-dauer beträgt in der Regel ein bis mehrere Jahre. Die einzelnen Entwicklungs-stadien der Insekten weisen dabei eine voneinander völlig verschiedene Ge-stalt auf (Bild 66). Die Zeitdauer vom Ei bis zum geschlechtsreifen Vollinsekt nennt man Entwicklungsduer. Es handelt sich um eine vollständige (holo-metabole) Entwicklung mit vier Entwicklungsstadien. Es gibt aber auch die unvollständige (hemimetabole) Entwicklung ohne Puppenstadium, zum Bei-spiel bei den Termiten.

Die Weibchen der holzzerstörenden Arten legen Eier, aus denen sich Larven entwickeln. Die Larven zerstören durch ihre Fraßaktivität das Holz und hinter-lassen typische Fraßgänge. Das dabei entstehende Bohrmehl (ein Gemisch aus Nagespänen und Kotpartikeln) verbleibt artabhängig im Fraßgang oder wird ausgestoßen.

Die Larven häuten sich im Laufe ihrer Entwicklung mehrmals. Vor jeder Häutung wird unter dem alten Außenskelett eine größere neue Haut angelegt, die nach dem Abstreifen der alten Haut noch einige Zeit weich und dehnbar ist und eine Volumenzunahme ermöglicht. Die Dauer der Larvenzeit hängt unter anderem von den Ernährungsbedingungen ab. Erst die letzte Häutung führt von der Endlarve zur Puppe.

Holometabole Larven verwandeln sich mit der letzten Häutung in die nicht nahrungsaufnahmefähige, nicht wachsende und meist bewegungslose Puppe. In einer von der Endlarve angelegten Puppenwiege, zumeist relativ dicht unter der Holzoberfläche, erfolgt die Umwandlung zum Vollinsekt. Dabei ist bei den Käfern und Hautflüglern in der Gestalt der freien Puppe das fertige Insekt schon

erkennbar. Beim Schlüpfen durch Herausarbeiten aus der Puppenwiege sind die Imagines dieser Käfer häufig noch weiß und weisen wenige Pigmentstellen auf (z. B. die Augen). Erst allmählich findet die artspezifische Färbung statt. Das Stadium des Vollensekts ist meistens nur kurz (ca. zwei bis vier Wochen) und dient der Fortpflanzung. Mit Ausnahme der holzbrütenden Borkenkäfer und der Kernholzkäfer erzeugen die Imagines im Holz keine Schäden mehr.

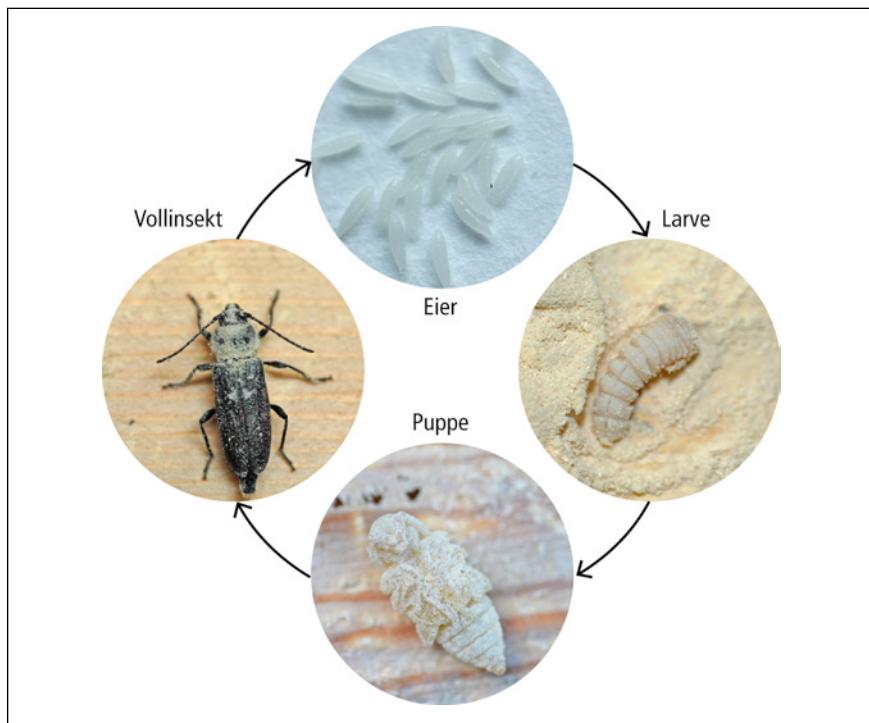


Bild 66 ■ Entwicklungskreislauf eines holzzerstörenden Insekts am Beispiel vom Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus* L.)

2.6.2.1 Übersicht über die wichtigsten Holzinsekten

Wegen der großen Artenvielfalt erfolgt eine Begrenzung auf die für Deutschland und Europa in holzschutztechnischer Hinsicht relevanten Arten (Tabelle 17 bis Tabelle 24).

Tabelle 17 ▪ Hausbockkäfer (Trockenholzinsekt) [22]

Hausbockkäfer (<i>Hylotrupes bajulus</i>)
Äußere Gestalt:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Der Käfer ist zumeist schwarz. Typisch sind zwei gelb- bis grauweiß behaarte Fleckenquerbinden auf den Flügeldecken sowie zwei glänzend schwarze Höcker (»Buckel«) auf dem Halschild (Bild 67). Die Körperlänge der adulten Käfer variiert, wobei die Männchen deutlich kleiner (8 bis 16 mm) als die Weibchen (10 bis 25 mm) sind. ■ Die elfenbeinfarbenen Larven können bis zu 30 mm Körperlänge erreichen (Bild 68). Sie sind kaum behaart und besitzen gefelderte Kriechwülste.
Schadbild:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Die glattrandigen Schlupflöcher der Käfer sind oval mit einem Längsdurchmesser von 5 bis 10 mm. Die Schlupflöcher sind häufig das erste erkennbare Merkmal für einen Befall, da die Larven eine dünne äußere Holzschicht stehen lassen, um so die Holzoberfläche unversehrt erscheinen zu lassen. Das an Verletzungsstellen der Holzoberfläche herausrieselnde Bohrmehl stellt einen relativ sicheren Aktivitätsnachweis dar (Bild 69). ■ Von den rindennahen Splintholzbereichen dringen die Larven mit fortschreitender Entwicklung auch in tiefere Splintholzonen unregelmäßig vor. Die Fraßgänge sind im Querschnitt oval. ■ Auch finden sich platzförmige Fraßbereiche in nährstoffreicheren Holzpartien. Die Fraßgänge sind mit Bohrmehl, Spänen und Larvenkot gefüllt. Charakteristisch für die Art und auch andere Bockkäfer ist ein durch das Abnagen entstehendes Wellenmuster an der Wandung des Fraßgangs, das durch das Hin- und Herbewegen des Kopfes beim Nagen entsteht. ■ Der Larvenkot ist holzfarben und trog- beziehungsweise walzenförmig, ähnlich einem Zylinder.
Holzarten:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Befallen wird ausschließlich Nadelholz, bevorzugt Kiefer, wobei sich der Larvenfraß nur auf das Splintholz beschränkt (Bild 70). ■ Laubholz ist für den Hausbockkäfer unverwertbar und ermöglicht keine Larvenentwicklung. Mit zunehmendem Holzalter nimmt die Befalls wahrscheinlichkeit durch den Hausbockkäfer ab. Dennoch können auch alte Holzkonstruktionen vom Hausbockkäfer befallen werden. Eine Massenentwicklung ist dann aber nicht zu erwarten.



Bild 67 ▪ Adulter Hausbockkäfer: Der Käfer ist schwarz mit grauen Querbinden auf den Flügeldecken und zwei glänzend schwarzen Höckern auf dem Halsschild.



Bild 68 ▪ Die Larve des Hausbockkäfers ist elfenbeinfarben und wird bis zu 3 cm groß.

Bild 69 ▪ Ovale Ausfluglöcher mit »Rieselspuren« sind ein relativ sicheres Anzeichen für einen aktiven (lebenden) Hausbockkäferbefall im Holz; unterhalb der unversehrt aussehenden Oberfläche ist die Holzsubstanz vollständig zerstört.



Bild 70 ▪ Querschnitt eines Kantenholzes (Kiefer) mit zerfressenem hellen Splintholz. Das rötliche Kernholz in der Mitte wird vom Hausbockkäfer nicht angegriffen.



Tabelle 18 ■ Gewöhnlicher Nagekäfer (Trockenholzinsekt) [22]

Gewöhnlicher Nagekäfer (<i>Anobium punctatum</i>)
<p>Äußere Gestalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Der Käfer ist schokoladen- bis dunkelbraun. Die Flügeldecken sind mit deutlich punktierten Streifen in Längsrichtung versehen (Bild 71). Das charakteristischste Merkmal ist die »Kapuze«, die für alle Anobienarten typisch ist. Die Körperlänge der adulten Käfer kann von 2 (selten) bis 6 mm variieren, zumeist sind es jedoch 3 bis 5 mm. ■ Die Larven sind raupenähnlich und bis zu 7 mm lang (Bild 72). Werden sie aus dem Holz entnommen, sind sie stark gekrümmt. Mit Ausnahme der Kopfkapsel sind die Larven cremeweiß bis gelblich. Feine, aufgerichtete Borsten von hellgoldener Farbe sind am Kopf und dem ganzen Körper vorhanden.
<p>Schadbild:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Die runden Ausfluglöcher der Käfer erreichen einem Durchmesser von ungefähr 1 bis 2 mm (Bild 73). ■ Die Fraßgänge, die ebenfalls rund sind, liegen bei 2 bis 3 mm. Bevorzugt wird von den Larven weiches Frühholz, sodass die Fraßgänge bei den Nadelhölzern meist im Frühholz der Jahrringe verlaufen (Bild 74). Das härtere, nährstoffärmere Spätholz bleibt lamellenartig stehen und wird nur bei stärkerem Fraß unregelmäßig durchlöchert. ■ Die Larven verstopfen hinter sich die Gänge mit Bohrmehl. ■ Der Larvenkot ist meist eiförmig (oder reiskorn- beziehungsweise zigarrenförmig) mit zugespitzten Enden.
<p>Holzarten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Es werden nahezu alle wirtschaftlich wichtigen Nadel- und Laubholzarten Europas (Kiefer, Fichte, Birke, Pappel, Eiche, Buche, Esche und Robinie) befallen, mit einer Bevorzugung von Weich- und Splinthölzern. Der Befall ist im Allgemeinen auf das Splintholz beschränkt, Kernholz wird gemieden. Auch Sperrholz wird befallen.



Bild 71 ■ Schokoladenbrauner adulter Gewöhnlicher Nagekäfer von circa 5 mm Länge mit deutlicher Punktierung auf den Flügeldecken



Bild 72 ▪ Cremeweiße und unauffällig erscheinende Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers im Substrat



Bild 73 ▪ Runde Ausfluglöcher des Gewöhnlichen Nagekäfers an einem historischen Türblatt. Zusätzlich ist feines Bohrmehl am Türband erkennbar.



Bild 74 ▪ Querschnitt mit Fraßgängen des Gewöhnlichen Nagekäfers, die im Frühholz der Jahrringe verlaufen

Tabelle 19 ■ Brauner Splintholzkäfer (Trockenholzinsekt) [22]

Brauner Splintholzkäfer (<i>Lyctus brunneus</i>)
Äußere Gestalt: <ul style="list-style-type: none">■ Die Splintholzkäfer (Lyctidae) spielen besonders in den Tropen als Holzschädlinge eine wichtige Rolle. Bei uns sind im Wesentlichen der Braune Splintholzkäfer (<i>Lyctus brunneus</i>) und der Parkettkäfer (<i>Lyctus linearis</i>) heimisch.■ Die schlanken, stäbchenförmigen Käfer sind 2,5 bis 8 mm, zumeist 5 mm lang und rotbraun gefärbt, kleinere Käfer auch braungelb (Bild 75).■ Die elfenbeinfarbige Larve ist wie bei den Nagekäfern engerlingartig gekrümmmt und voll ausgewachsen 5 bis 7 mm lang.
Schadbild: <ul style="list-style-type: none">■ Die kreisrunden Schlupflöcher sind im Durchmesser 0,8 bis 1,8 mm groß. Das unregelmäßige, vorwiegend in Faserrichtung verlaufende Fraßbild ähnelt dem der Nagekäferarten; das Holz wird aber viel schneller und intensiver zerstört. Die circa 2 mm großen Fraßgänge werden mit sehr feinem Bohrmehl ohne erkennbare Kotpartikel fest verstopft. Es verbleibt eine papierdünne Außenschicht, die den pulverisierten Innenbereich umhüllt [23]. Im fortgeschrittenen Befallsstadium ist das Holz zerpulvert und das Bohrmehl quillt aus den Gefäßen, Schlupflöchern und Rissen heraus (Bild 76). Stark befallenes Holz ist siebartig mit Schlupflöchern versehen. Da die Tiere immer wieder dasselbe Holz für die Eiablage aufsuchen, wird es vollständig zerstört.
Holzarten: <ul style="list-style-type: none">■ Befallen wird ausschließlich das Splintholz stärkerreicher Laubhölzer. Nadelholz und das Kernholz der Laubhölzer wird nicht befallen. Von den einheimischen Laubhölzern sind der Splint von Eiche, Esche, Edelkastanie, Ulme und Nussbaum sowie Ahorn und Pappel gefährdet. Von den tropischen Hölzern werden besonders Limba- und Abachiholz, aber auch Bambus befallen.■ Der Befall an Eichenparkett mit größerem Splintholzanteil ist relativ häufig.



Bild 75 ■ Adulter Brauner Splintholzkäfer: Die Käfer sind schlank und circa 5 mm lang.



Bild 76 ■ Fraßbild des Brauner Splintholzkäfers: Im fortgeschrittenen Befallsstadium ist das Holz zerpulvert.

Tabelle 20 ■ Holzwespen (Frischholzinsekt) [22]

Holzwespen (Siricidae)
Holzwespen sind Waldinsekten und legen ihre Eier in kränkelnden oder frisch geschlagenen Bäumen ab. Bedingt durch die lange Generationsdauer wird der Befall erst nach der Verarbeitung des Holzes entdeckt, in dem die Wespen aus verbauten Brettern und Balken schlüpfen, wo sie ihre Entwicklung bis zum Vollinsekt vollzogen haben. Dabei sind sie auch in der Lage, auf dem Holzbauteil vorhandene Folgeschichten, wie Fußbodenbeläge, aber auch Abdichtungsbahnen mit zu durchbohren. Hierdurch kann der ansonsten durch die Wespe erzeugte wirtschaftlich nur geringfügige Schaden (sekundärer Schädling) erheblich werden. Durch Verwendung von technisch getrocknetem Holz wird dem Ausschlupf aus verbautem Holz sicher vorgebeugt. Im Gebäude geschlüpfte Wespen legen keine Eier mehr an trockenem Bauholz ab. Eine häufige einheimische Art ist die Riesenholzwespe (<i>Urocerus gigas</i>).
Äußere Gestalt
<ul style="list-style-type: none"> ■ Adulte Holzwespen sind etwa 2 bis 4 cm groß (Bild 77). Sie sind langgestreckte und auffallend gefärbte Tiere mit walzenförmigem Körper. Die Weibchen sind bedeutend größer als die Männchen und besitzen eine lange Legeröhre. Die Imagine sind meist schwarz oder metallisch dunkelblau, aber auch in Kombination von schwarz, rot und gelb gefärbt. ■ Die gelblich weißen Larven sind zylindrisch mit einem Dorn am Hinterleibende und werden bis 30 mm groß.
Schadbild:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Ausfluglöcher der Holzwespen sind kreisrund, im Durchmesser 4 bis 10 mm und glattrandig. Die gewundenen Larvenfraßgänge sind ebenfalls rund mit einem Durchmesser von 4 bis 8 mm (Bild 78), die bei schrägem Stammeinschnitt aber oval erscheinen. Die Gänge sind fest mit hellfarbigem mittelfeinem Bohrmehl verstopft und können daher bei der Holzverarbeitung übersehen werden. Kotteilchen sind im Bohrmehl nicht auffällig. Nach der Trocknung wird das Bohrmehl lockerer.
Holzarten:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Von den Nadelholz bewohnenden Holzwespenarten werden Fichte, Kiefer, Lärche und Tanne befallen. Bei den Laubholzbewohnern sind es Eiche, Buche, Weide, Pappel, Ulme, Birke und Ahorn.



Bild 77 ■ Farblich auffällige adulte Riesenholzwespe (*Urocerus gigas*): Sie kann bis zu 4 cm groß werden.



Bild 78 ■ Larvenfraßgänge im Holz mit Tieren der Riesenholzwespe kurz vor dem Schlupf

Tabelle 21 ■ Gescheckter Nagekäfer (Feuchtholzinsekt) [22]

Gescheckter Nagekäfer (<i>Xestobium rufovillosum</i>)	
Äußere Gestalt:	
■	Der Gescheckte Nagekäfer ist die größte einheimische Nagekäferart. Die Käfer sind dunkelbraun und tragen ungleichmäßig verteilte, scheckige gelbgraue Haarflecken auf dem Halsschild und den Flügeldecken (Bild 79). Die Körperlänge der Imago variiert von 4,5 bis 9 mm, zumeist 5 bis 7 mm.
■	Die Larven sind raupenförmig, wie es für die Nagekäfer typisch ist. Sie sind cremeweiß, besitzen sechs kleine Beine und werden bis 11 mm lang. Ebenso wie beim Gewöhnlichen Nagekäfer sind lange aufrechtstehende goldfarbene Borsten am Körper vorhanden.
Schadbild:	
■	Das Ausflugloch, das die Tiere erzeugen, ist kreisrund und 3 bis 4 mm im Durchmesser (Bild 80). Die im Querschnitt kreisförmigen Larvenfraßgänge folgen bevorzugt den Jahrringen (Bild 81).
Holzarten:	
■	Der Gescheckte Nagekäfer befällt im Bauwerk verschiedene Hartholzarten mit Pilzbefall, im Wesentlichen jedoch Eichenholz. Nadelholz nur, wenn es im Kontakt mit Eichenholz steht (z.B. Bauteilanschlüsse im Dachstuhl). Dadurch, dass der Käfer Kernholz befällt, kann ein starker Befall zu einem vollständigen Verlust der Tragfähigkeit des Holzbauteils führen.



Bild 79 ■ Adulter Gescheckter Nagekäfer (auch als Bunter Nagekäfer bezeichnet): Typisch sind seine scheckig grau-gelben Haarflecken.



Bild 80 ■ Runde Ausfluglöcher des Gescheckten Nagekäfers an der Holzoberfläche mit einem Durchmesser von 3 bis 4 mm



Bild 81 ■ Schadbild im Eichenholz mit Pilzbefall (Braunfäule): Die Larvenfraßgänge des Gescheckten Nagekäfers folgen bevorzugt den Jahrringen.

Tabelle 22 ■ Trotzkopf (Feuchtholzinsekt) [22]

Trotzkopf (<i>Hadrobregmus pertinax</i>)
Äußere Gestalt: <ul style="list-style-type: none">■ Die 4,5 bis 6 mm großen Käfer sind schwärzlich bis schwarzbraun gefärbt und besitzen beidseits an den Hinterecken des Halsschildes eine goldgelbe Behaarung (Bild 82). Das Halsschild ist buckelig gewölbt und durch einen Y-ähnlichen Grat (Höcker) in der Mitte in Grübchen geteilt. Vom Habitus ist der Trotzkopf dem Gewöhnlichen Nagekäfer ähnlich, er ist jedoch größer und sein Halsschild ist breiter. Die Flügeldecken sind wie beim Gewöhnlichen Nagekäfer in Längsreihen punktiert, die Fühler sind braun gefärbt.■ Die Larven werden bis 6 mm groß. Sie sind nahezu identisch mit den Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers.
Schadbild: <ul style="list-style-type: none">■ Die Käfer erzeugen Schlupflöcher mit einem Durchmesser von 2 bis 3 mm. Im fortgeschrittenen Befall ist das Holz kreuz und quer von Fraßgängen durchzogen (Bild 83). Die Fraßgänge sind relativ locker mit Larvenkot und Holzteilchen gefüllt. Die im Vergleich zu denen des Gewöhnlichen Nagekäfers etwas größeren und im Querschnitt kreisförmigen Fraßgänge (Ø bis 4 mm) folgen den Frühholzsichten der Jahrringe. Der längliche Larvenkot ist eigentlich trog- bis strangförmig und an den Enden etwas schmäler bei leicht gekrümmter Form. Oft ist der faulholzbedingt bräunliche Larvenkot auch zu Pulver zerfallen.
Holzarten: <ul style="list-style-type: none">■ Die Art frisst vorwiegend in Nadelhölzern mit Pilzbefall, bevorzugt wird Kiefer. Laubholz wird nur selten angegangen. Durch die Bindung an einen vorausgegangenen Pilzbefall handelt es sich um einen sekundären Holzzerstörer. Das pilzbefallene Holz wird durch den Larvenfraß zusätzlich zerstört. Befallsschwerpunkt sind eingemauerte Balkenköpfe (Bild 84).



Bild 82 ■ Adulter Trotzkopf aus der Familie der Nagekäfer (Ptinidae): Er ist schwärzlich gefärbt und bis zu 6 mm groß.



Bild 83 ■ Fraßschaden durch den Trotzkopf: Bedingt durch seine Symbiose mit Pilzen wirkt das Holz durch den Insektenfraß zusätzlich zerstört.



Bild 84 ■ Freigelegter Balkenkopf: Neben dem primären Pilzbefall wurde er durch den Trotzkopf mit zerstört.

Tabelle 23 ■ Rothalsbock (Feuchtholzinsekt) [22]

Rothalsbock (<i>Stictoleptura rubra</i> syn. <i>Leptura rubra</i>)
<p>Äußere Gestalt:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Die Käfer werden bis 20 mm lang. Es besteht bei Gestalt und Färbung ein Geschlechtsdimorphismus. Die männlichen Käfer sind 11 bis 15 mm lang mit schwarzem Halsschild und braunen Flügeldecken. Die Weibchen sind 12 bis 20 mm lang mit hellrotem Halsschild und Flügeldecken in der gleichen Farbe (Bild 85).■ Die Larven werden bis 3 cm lang und sind durch einen flachen Kopf, eine stärkere Chitinisierung, hellgelbe Ränder am ersten Brustabschnitt und starke Längswülste an den Körperseiten gekennzeichnet.
<p>Schadbild:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Der adulte Käfer verlässt das Holz durch ein kreisrundes Ausflugloch mit einem Durchmesser von circa 4 bis 7 mm, das auf den ersten Blick dem einer Holzwespe ähnelt (Bild 86). Die Außenfläche bleibt als dünne Schicht erhalten. Die ovalen Fraßgänge sind mit länglichen Nagelspänen und Larvenkot fest verstopft. Der Larvenkot besteht aus zylindrischen Kotwalzen, die an den Enden abgerundet sind. Bedingt durch die geringe Länge erscheint der Larvenkot fast kugelförmig.
<p>Holzarten:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Der Rothalsbock befällt feuchtes Nadelholz mit einer Holzfeuchte >20 % (z. B. Masten und Pfähle). Bevorzugt werden Fichte und Kiefer.



Bild 85 ■ Der Rothalsbock: links männliches Tier (kleiner), rechts weibliches Tier (größer)



Bild 86 ■ Das kreisrunde Ausflugloch des Rothalsbocks zeigt den Befall im feuchten und pilzvorgeschadigten Holz an.

Tabelle 24 ■ Rotrückige Hausameise (Holz bewohnendes Insekt) [22]

Ameisen
Unter den etwa 12 500 beschriebenen Ameisenarten gibt es einige wenige Arten, die zu den Holzbewohnern gehören und durch den Bau ihrer Nester im verbauten Holz technische Schäden erzeugen. Ameisen gehören zur Ordnung der Hautflügler und sind mit den Termiten nicht näher verwandt.
Ein typisches Erkennungszeichen für Ameisen sind das ein- oder zweigliedrige Stielchen als Teilstück des Hinterleibs sowie die geknieten (abgewinkelten) Fühler.
Zu der am häufigsten als schädlich gemeldeten Art gehört die Rotrückige Hausameise (<i>Lasius brunneus</i>).
Rotrückige Hausameise (<i>Lasius brunneus</i>)
Äußere Gestalt:
<ul style="list-style-type: none"> Die Arbeiterinnen sind 2,5 bis 4 mm, die Männchen 4 bis 5 mm und die Weibchen sind mit 6,5 bis 8 mm fast doppelt so groß wie die Arbeiterinnen. Bei den Arbeiterinnen sind Brust, Beine, Fühler, Mandibel und Schuppe gelbbraun, während Kopf und Hinterleib dunkler sind (Bild 87). Bei den Geschlechtstieren sind Kopf und Körper schwarzbraun. Die Fühlerschäfte und die Beine sind bei den Männchen braun und bei den Weibchen gelb. Die Flügel sind mit Ausnahme des glashellen äußersten und hinteren Drittels braun getrübt mit blassbraunen Adern.
Schadbild:
<ul style="list-style-type: none"> Die Art nistet außer in der Erde und in Laubbäumen auch in Häusern. Sie kann verbautes Holz flächig zerstören. Bevorzugt werden Balkenköpfe besiedelt. Dämmmaterial ist beliebt zum Anlegen von Nestern (Bild 88).
Holzarten:
<ul style="list-style-type: none"> Im Gebäude gilt die Art als Indikator für verdeckte Feuchteschäden (Bild 89). Im Freiland werden insbesondere Laubgehölze für den Nestbau aufgesucht.

**Bild 87** ■ Arbeiterin der Rotrückigen Hausameise (Foto: Björn Weiß, Dresden)



Bild 88 ■ Dämmstoff wird von der Ameise als Wohnraum und zum Anlegen von Nestern im Gebäude genutzt.



Bild 89 ■ Pilzgeschädigtes Holz in einem Fertigteilhaus. Wegen des Auftretens von Ameisen im Gebäude wurde nach einem verdeckten Feuchteschaden in der Konstruktion gesucht.

Es ist darauf hinzuweisen, dass es neben den dargestellten Holzzerstörern auch nützliche Insekten gibt, die als natürliche Feinde Jagd auf die Holzschädlinge im Gebäude machen. Zu diesen Gegenspielern gehören der Buntkäfer und parasitoide Wespen. Sie stehen im Fokus der biologischen Schädlingsbekämpfung.

In den Tropen und Subtropen sind Termiten die gefürchtetsten Holzschädlinge. Sie greifen im Gebäude verbautes Holz an und zerstören das Holz durch Aushöhlen im Inneren (Bild 90). Die Holzoberfläche bleibt unverletzt und der Schaden wird erst infolge einer Holzuntersuchung oder im ungünstigsten Fall nach Bauteilversagen entdeckt. Zu den wichtigsten schadhaften Termitengattungen gehören *Reticulitermes* und *Coptotermes*.

Einen Schutz gegen Termiten bieten nur termitenresistente Hölzer (z. B. Teak).

Auch im Wasser werden Hölzer durch Holzschädlinge angegriffen. Die stärksten Zerstörungen werden durch die Schiffsbohrmuschel hervorgerufen (Bild 91). Sie ist weltweit verbreitet und auch bis in die Ostsee vorgedrungen.



Bild 90 ▪ Von Termiten der australischen Art *Mastotermes darwiniensis* ausgehöhltes und zerstörtes Holz



Bild 91 ▪ Hirnschnitt an einer Buhne mit starkem Schiffsbohrmuschelbefall: Es liegt Bohrgang an Bohrgang.

2.7 Einstufung nach Gebrauchsklassen

Eine zentrale Bedeutung im Holzschutz besitzen die Gebrauchsklassen (GK). Bei den Gebrauchsklassen handelt es sich um eine Klassifikation zur Einbau-situation von Holz in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen.

Wichtig ist, dass die Gebrauchsklassen nicht mit den Nutzungsklassen nach DIN EN 1995-1-1 [24] verwechselt werden dürfen. Die Gebrauchsklassen dienen zur allgemeinen Einstufung des Einsatzbereichs von Holz im Hinblick auf einen erforderlichen Schutz gegen Holzschädlinge, während die Nutzungsklassen (NKL) die Basis für die Bemessung von Holzbauteilen sind.

Insgesamt wird in sechs Gebrauchsklassen unterschieden von 0 bis 5, wobei die Gebrauchsklasse 3 noch in zwei Unterklassen gegliedert ist.

Gebrauchsklasse 0 bedeutet keine Gefahr von Bauschäden und ist das angestrebte Ziel beim Konstruieren mit Holz. Die Gebrauchsklassen 0, 1 und 2 bedeuten, dass das Holz witterungsgeschützt verbaut ist, erst ab Gebrauchsklasse 3 ist das Holz der Bewitterung ausgesetzt. Bei der Unterkategorie 3.1 muss eine Wasseranreicherung im Holz noch ausgeschlossen sein, d. h. nach einer Beregnung kann das Holz schnell wieder abtrocknen. Bei Unterkategorie 3.2 herrschen anhaltend feuchte Bedingungen vor. Die höchste Beanspruchungsstufe stellt die Gebrauchsklasse 4 dar. Hier ist das Holz einem ständigen Kontakt mit Erde oder Süßwasser ausgesetzt. Gebrauchsklasse 5 bezieht sich ausschließlich auf verbautes Holz im Meerwasser sowie Brackwasser mit einem Salzgehalt >7 %.

Die nachfolgende Tabelle 25 beschreibt die einzelnen Gebrauchsklassen und deren Gefährdungsmerkmale. Eine vereinfachte Entscheidungshilfe beim Konstruieren für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse bietet auch Bild 92.

Tabelle 25 ■ Gebrauchsklassen (GK) (aus DIN 68800-1:2019-06, S. 12–13) [4]

GK	Holzfeuchte/ Exposition ^{a)} b)	Allgemeine Ge- brauchsbedingungen	Gefährdung durch				Auswasch- beanspruchung
			Insekten	Pilze ^{c)}	Moderfäule	Holzsäädlinge im Meerwasser	
0	<ul style="list-style-type: none"> ■ trocken (ständig ≤20 %) ■ mittlere relative Luftfeuchte bis 85 %^{d)} 	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt; die Gefahr von Bauschäden durch Insekten kann entsprechend ausgeschlossen werden	nein	nein	nein	nein	nein
1	<ul style="list-style-type: none"> ■ trocken (ständig ≤20 %) ■ mittlere relative Luftfeuchte bis 85 %^{d)} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt 	ja	nein	nein	nein	nein
2	<ul style="list-style-type: none"> ■ gelegentlich feucht (>20 %) ■ mittlere relative Luftfeuchte über 85 %^{d)} oder zeitweise Befeuchtung durch Kon-densation 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung ausgesetzt; eine hohe Umgebungsfeuchte kann zu gelegentlicher, aber nicht dauerhafteren Befeuchtung führen 	ja	ja	nein	nein	nein

GK	Holzfeuchte/ Exposition ^{a) b)}	Allgemeine Ge- brauchsbedingungen	Gefährdung durch				Auswasch- beanspruchung	
			Insekten	Pilze ^{c)}	Moderfäule	Holzschädlinge im Meerwasser		
3	3.1	<ul style="list-style-type: none"> ■ gelegent- lich feucht (>20 %) ■ Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich be- grenzt, nicht zu erwarten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holz oder Holzprodukt nicht unter Dach; mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt; Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, ist aufgrund von rascher Rücktrocknung nicht zu erwarten 	ja	ja	nein	nein	ja
		<ul style="list-style-type: none"> ■ Häufig feucht (>20 %) ■ Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holz oder Holzprodukt nicht unter Dach; mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt; An- reicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten^{e)} 	ja	ja	nein	nein	ja
4		<ul style="list-style-type: none"> ■ vorwiegend bis ständig feucht (>20 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holz oder Holzprodukt in Kontakt mit Erde oder Süßwasser und so bei mäßiger bis starker^{f)} Beanspruchung vor- wiegender bis ständig einer Befeuchtung ausgesetzt 	ja	ja	ja	nein	ja
5		<ul style="list-style-type: none"> ■ ständig feucht (>20 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holz oder Holzprodukt ständig dem Meer- wasser ausgesetzt 	ja	ja	ja	ja	ja

a) Die Begriffe »gelegentlich«, »häufig«, »vorwiegend« und »ständig« zeigen eine zunehmende Beanspruchung an, ohne dass hierfür wegen der sehr unterschiedlichen Einflussgrößen genaue Zahlenangaben möglich sind.

b) Der Wert von 20 % enthält eine Sicherheitsmarge.

c) Holz zerstörende Basidiomyceten (Braun- und Weißfäulepilze) sowie Holz verfärbende Pilze

d) Maßgebend für die Zuordnung von Holzbauten zu einer Gebrauchsklasse ist die jeweilige Holzfeuchte.

e) Bauteile, bei denen über mehrere Monate Ablagerungen von Schmutz, Erde, Laub u. ä. zu erwarten sind sowie Bauteile mit besonderer Beanspruchung, z. B. durch Spritzwasser, sind in GK 4 einzustufen.

f) »Mäßige« beziehungsweise »starke« Beanspruchung bezieht sich auf das Gefährdungspotenzial für einen Pilzbefall (Feuchteverhältnisse, Bodenbeschaffenheit) sowie die Intensität einer Auswaschbeanspruchung.

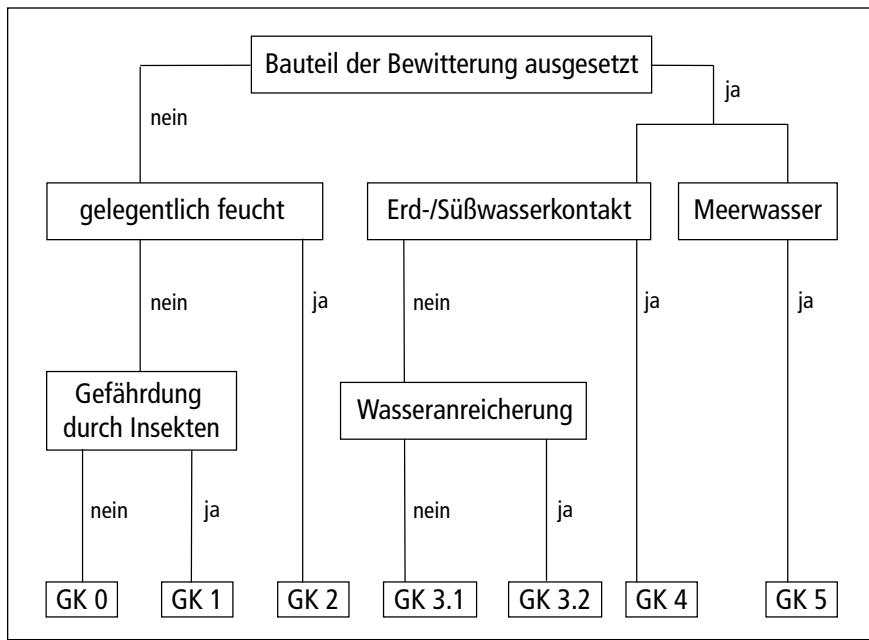


Bild 92 ■ Vereinfachte Entscheidungshilfe zur Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse (aus DIN 68800-1:2019-06, S. 30) [4]

2.8 Maßnahmen zum Schutz des Holzes

2.8.1 Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Feuchteschäden

Bauliche Maßnahmen stellen die wichtigsten Schutzmaßnahmen für verbaute Hölzer dar. Dabei umfassen die baulichen Maßnahmen alle planerischen, konstruktiven, bauphysikalischen und organisatorischen Maßnahmen. Die Schutzmaßnahmen sind so auszuwählen, dass das Holz der Gefährdung in der gegebenen Gebrauchsklasse über die vorgesehene Nutzungsdauer standhält. Durch bauliche Maßnahmen soll erreicht werden, dass keine Gefährdung besteht, also Gebrauchsklasse 0 erreicht wird. Im modernen Holzbau ist Gebrauchsklasse 0 üblich (Bild 93).



Bild 93 ■ Das Holzhochhaus »HoHo« in Wien ist aus Fichtenholz gebaut. Es hat 24 Stockwerke und einen 84 m hohen Turm.

Unterschieden wird nach DIN 68800-2 [25] in grundsätzliche bauliche Holzschutzmaßnahmen und besondere bauliche Holzschutzmaßnahmen. Dabei sind die grundsätzlichen baulichen Holzschutzmaßnahmen als eine Muss-Formulierung zu verstehen.

Zu den grundsätzlichen baulichen Holzschutzmaßnahmen gehören zum Beispiel:

- die rechtzeitige und sorgfältige Planung,
- die Vermeidung von Feuchteinflüssen aus Transport, Lagerung und Montage,
- der Einbau des Holzes mit dem Feuchtegehalt, der auch während der Nutzung zu erwarten ist,
- die Vermeidung von Tauwasser,
- die Vermeidung einer unzuträglichen Feuchteerhöhung als Folge hoher Baufeuchte,
- die Fernhaltung oder schnelle Ableitung von Niederschlagswasser.

Die besonderen baulichen Holzschutzmaßnahmen sind auszuführen, wenn die Gebrauchsklasse 0 (GK 0) erreicht werden soll und grundsätzliche bauliche Maßnahmen allein nicht die Zuordnung zur GK 0 erlauben. Dabei sollen die besonderen baulichen Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800-2 [25] bevorzugt werden gegenüber Ausführungen, bei denen vorbeugende Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln erforderlich sind. Beispiele für besondere bauliche Holzschutzmaßnahmen sind die Begrenzung der Rissbildung im Holz, das Abdecken von Hirnholzflächen, das Planen ausreichender Dachüberstände etc.

Das Prinzip des baulichen Holzschutzes lässt sich zu folgender einfachen Aussage zusammenfassen: Man baut mit trockenem Holz und sorgt dafür, dass es trocken bleibt. Die Praxis zeigt jedoch, dass die Umsetzung nicht so einfach ist.

Bauliche Holzschutzmaßnahmen sind vielfältig. Allgemeine Regeln gibt es, jedoch kommt es immer auf die konkrete bauliche Situation an. Die nachfolgenden Beispiele stellen eine Auswahl von Möglichkeiten dar, Holz baulich zu schützen und damit kritische Feuchtegehalte $\geq 20\%$ langfristig zu vermeiden (Bild 94 bis Bild 97).



Bild 94 ▪ Abdeckung einer Hirnholzfläche durch ein Opferbrett



Bild 95 ▪ Verblechter Balkenkopf an einer Fachwerkfassade



Bild 96 ■ Überdachte Holzbrücken verlängern die Nutzungsdauer und verringern die Unterhaltskosten. Bei geschützten Brücken sind Gleichgewichtsfeuchten im eingebauten Zustand von 15 bis 18 % zu erwarten.



Bild 97 ■ Schützender Dachüberstand an einem Holzhaus

2.8.2 Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen holzzerstörende Insekten

Ebenso wie es Maßnahmen zur Vermeidung eines Pilzschadens infolge unzuträglicher Holzfeuchte gibt, sind auch bauliche Maßnahmen zur Vermeidung eines Bauschadens durch Insekten möglich. Nach DIN 68800-2 [25] reicht jede der folgenden Maßnahmen alleine aus, um einen Bauschaden durch Insekten zu vermeiden:

1. Einsatz von Holz in Räumen mit üblichem Wohnraumklima oder vergleichbaren Räumen oder Einsatz unter entsprechenden Bedingungen;
2. Verwendung von Brettschichtholz (Bild 98), Brettspertholz, technisch getrocknetem Bauholz oder Holzwerkstoffen mit einer Holzfeuchte $\leq 20\%$ im Gebrauchszustand;
3. eine allseitige insektenundurchlässige Abdeckung des Holzes;

4. die offene Anordnung des Holzes, damit es für Inspektionen zugänglich bleibt, sowie Anbringen einer Hinweistafel, die auf die Abstände/Termine für die notwendigen regelmäßigen Kontrollen hinweist;
5. die Verwendung von Farbkernholz mit wenig Splint ($\leq 10\%$).

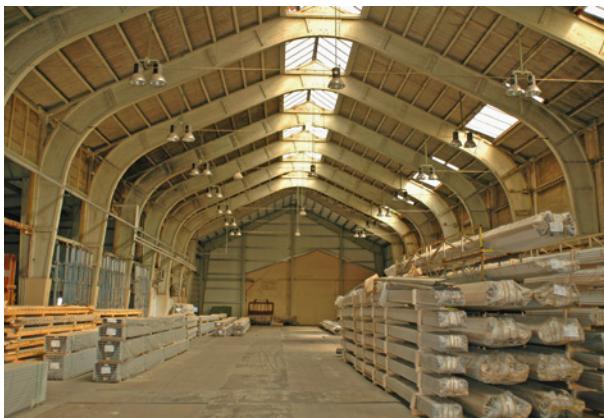


Bild 98 ▪ Historische Brettschichtholzkonstruktion in einer Industriehalle von 1914. Schäden durch holzzerstörende Insekten sind nicht vorhanden.

2.8.3 Ausnutzung der natürlichen Dauerhaftigkeit

Unter der natürlichen Dauerhaftigkeit wird die Eigenschaft einer Holzart verstanden, ohne zusätzliche Maßnahmen einem Befall durch Holzschädlinge zu widerstehen. In der Praxis wird darunter im Wesentlichen die erhöhte Widerstandsfähigkeit einer Holzart gegen Pilzbefall verstanden.

Die natürliche Dauerhaftigkeit gegen Pilzbefall wird, wie bereits in Kapitel 2.3.1 dargestellt, durch fünf Klassen gekennzeichnet: von 1 (sehr dauerhaft) bis 5 (nicht dauerhaft). Dabei besitzt ausschließlich das Kernholz die natürliche Dauerhaftigkeit und nicht das Splintholz. Splintholz ist stets nicht dauerhaft.

Die Dauerhaftigkeit einer Holzart gegen die verschiedenen Holzschädlinge wird im Wesentlichen durch die Holzinhaltsstoffe beeinflusst. Dabei ist festzustellen, dass die natürliche Dauerhaftigkeit keine absolute Größe, sondern eine relative Klassifizierung darstellt und sich Holz der gleichen Dauerhaftigkeitsklasse unter gleichen Bedingungen ähnlich verhält.

Beispiele mit Angaben zur Dauerhaftigkeit von ausgewählten einheimischen Holzarten sind bereits im Kapitel zu den Holzeigenschaften (Kapitel 2.3.1 »Natürliche Dauerhaftigkeit«, Tabelle 4) enthalten. Ergänzende Angaben zur natürlichen Dauerhaftigkeit für die häufig verwendete Sibirische Lärche sowie eine ergänzende Auswahl tropischer Bau- und Ausstattungshölzer benennt Tabelle 26.

Tabelle 26 ■ Natürliche Dauerhaftigkeit von Sibirischer Lärche und einer Auswahl tropischer Hölzer sowie Angaben zu deren Verwendung/Einsatz nach DIN EN 350 [10]

Holzart	Dauerhaftigkeitsklasse	Herkunft	Verwendung
Nadelhölzer			
Sibirische Lärche	3 bis 4	Russland (Sibirien)	Terrassendielen, Parkett, Pfähle im Wasser, Holzfassaden, Gartenzäune
Laubhölzer			
Cumarú (Tonka Nuss)	1	Peru, Venezuela, Brasilien	Terrassenholz, Poolumrandung
Itaúba	1	Bolivien, Brasilien, Ecuador	Lärm-/Sichtschutzwände, Zaunanlagen, Vollholzparkett
Jatoba (»Brasilikirsche«)	2 bis 3	Brasilien	Möbelholz, Parkett, Treppenstufen
Tali	1	Elfenbeinküste, Ghana, Kamerun, VR Kongo	Zäune, Pavillons, Schwellen, Gartenbänke, Bottiche
Ipé (umfasst mehrere Baumarten)	1	Brasilien, Venezuela	Terrassendielen, Decks von Molen, Pferdeboxen, Schwimmstege, Poolumrandung

Für das Konstruieren mit Holz ist das Ausnutzen der Dauerhaftigkeit in den Gebrauchsklassen von Bedeutung. Das heißt, für die jeweils vorherrschende Gebrauchsklasse ist die entsprechend dauerhafte Holzart auszuwählen, sofern keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen getroffen werden.

Die nachfolgende Tabelle 27 stellt die Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit des splintfreien Farbkernholzes gegen Pilzbefall für den Einsatz in Gebrauchsklasse GK 2 bis 4 dar. Tabelle 28 nennt für ausgewählte Holzarten Einsatzmöglichkeiten in den Gebrauchsklassen GK 0 bis 4 ohne Anwendung zusätzlicher Holzschutzmaßnahmen.

Tabelle 27 ■ Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit des splintfreien Farbkernholzes gegen Pilzbefall für den Einsatz in Gebrauchsklasse GK 2 bis 4 (aus DIN 68800-1:2019-06, S. 17) [4]

GK	Dauerhaftigkeitsklasse nach DIN EN 350 ^{a)}			
	1	2	3	4
2	+	+	+	-
3.1	+	+	+	-
3.2	+	+	-	-
4	+	-	-	-

+ natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend

- natürliche Dauerhaftigkeit nicht ausreichend

a) Im Falle von Zwischenstufen (z.B. 1 bis 2) ist für die geforderte Dauerhaftigkeit die Klasse mit der nächstniedrigeren Dauerhaftigkeit maßgebend.

Tabelle 28 ■ Einsatzmöglichkeiten ausgewählter Holzarten in den Gebrauchsklassen GK 0 bis 4 ohne Anwendung zusätzlicher Holzschutzmaßnahmen, nach DIN 68800-1 [4]

Holzart	Gebrauchsklasse	
	Splintholz	Farbkernholz
Fichte, Tanne	0	0
Kiefer	0	0, 1, 2
Lärche	0	0, 1, 2, 3.1
Douglasie	0	0, 1, 2, 3.1
Eiche	0	0, 1, 2, 3.1, 3.2
Afzelia (Doussie)	0, 1	0, 1, 2, 3.1, 3.2, 4
Teak	0, 1	0, 1, 2, 3.1, 3.2, 4

Bei den Holzarten Douglasie, Europäische Lärche, Kiefer und Sibirische Lärche gibt es hinsichtlich des Einsatzes in den Gebrauchsklassen Besonderheiten zu beachten, die sich aus Praxiserfahrungen ableiten [4]. Diese sind:

- Das Farbkernholz von Douglasie und Lärche kann ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen in GK 2 und GK 3.1 eingesetzt werden, unabhängig davon, dass es nur in Dauerhaftigkeitsklasse 3 bis 4 eingestuft ist, da sich der Einsatz dieser beiden Holzarten in GK 2 und GK 3.1 in der Praxis bewährt hat. Das Farbkernholz der Kiefer kann aus dem gleichen Grund in GK 2 eingesetzt werden.
- Das Farbkernholz von Sibirischer Lärche darf ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen in GK 2 und GK 3.1 eingesetzt werden, unabhängig davon, dass es nur in Dauerhaftigkeitsklasse 3 bis 4 eingestuft ist, da hierfür

eine ausreichende Dauerhaftigkeit anzunehmen ist. Bei einer Rohdichte >700 kg/m³ darf es auch in GK 3.2 eingesetzt werden, unabhängig davon, dass es nur in Dauerhaftigkeitsklasse 3 eingestuft ist.

2.8.4 Beschichtungen auf Holz

Beschichtungen sind flüssige Stoffe, die eine schützende und dekorative Aufgabe erfüllen. Sie behindern die Wasseraufnahme des Holzes über die Holzoberfläche und stellen damit eine Barriere dar, die einen Angriff durch Holzschädlinge stark reduziert. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Schutz des Holzes im Außenbereich. Voraussetzung für ihre Funktionstüchtigkeit ist jedoch die regelmäßige Inspektion der Bauteile, die Wartung (Reinigung, Oberflächenkontrolle, kleine Reparaturen) und die Instandsetzung bzw. Renovierung entsprechend den Instandsetzungsintervallen (Tabelle 29).

Alle klimatisch beanspruchten Holzbauteile im Außenbereich unterliegen, auch bei einer einwandfreien technischen Ausführung und korrekten Werkstoffauswahl, einem natürlichen Alterungs- und Verschleißprozess. Die Haltbarkeit und Schutzwirkung der Beschichtung ist entscheidend von der Intensität der Wetterbeanspruchung abhängig. In der Regel ist die Wetterbeanspruchung auf der Nordseite relativ schwach, während üblicherweise auf den Wetterseiten der Süd-, Südwest- und Westseite eine starke Beanspruchung vorliegt. Die Instandsetzung umfasst dabei alle Maßnahmen zur Wiederherstellung von Funktion, Schutz und Aussehen der beschichteten Holzbauteile.

Aus holzschutztechnischer Sicht ist die Beschichtung als zusätzliche Maßnahme zur Verringerung der Wasseraufnahme zu verstehen. Die Einhaltung der Regeln des baulichen Holzschutzes werden durch Beschichtungsmaßnahmen nicht aufgehoben. Beschichtungen können auch keine baulichen oder holztechnischen Mängel beseitigen.

In skandinavischen Ländern lässt man erfahrungsgemäß der Beschichtung eine höhere Bedeutung zukommen als in Deutschland. Diese Situation begründet sich im traditionellen Verständnis zur Pflege von Beschichtungen. Während in Skandinavien beschichtete Hölzer intensiv gepflegt werden, sind in Deutschland die Pflegeaufwendungen häufig streitgegenständlich und es wird über die Dauer der Instandhaltungsintervalle diskutiert.

Werden Beschichtungen nicht gepflegt und entstandene Beschädigungen nicht ausgebessert, dann verschlechtert sich die Situation durch eindringendes Wasser in kurzer Zeit. Das Holz quillt auf und es entstehen weitere Risse, die wiederum Zugangswege für Wasser und Feuchtigkeit sind. Das ursprünglich vor Feuchteaufnahme geschützte Holz kann dann durch die unzuträgliche Befeuchtung zum Nährboden für einen Pilzangriff werden.

Tabelle 29 ■ Planung der Instandhaltungsintervalle (aus DIN 68800-3:2020-03, S. 34) [26]

Stufe	Zustand der Holzbauteile	zusätzliche Bedingungen	Instandhaltungsintervalle Beanspruchung aufgrund der Klimabedingungen und Konstruktion ^{a)}					
			schwach	mittel	stark	lasierend	deckend	lasierend
1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Holzoberfläche ohne Mängel ■ Altbeschichtung tragfähig, aber unterschiedlich abgewittert ■ Fenster entsprechend RAL-Gütesicherung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ohne mechanische Beanspruchung ■ geeignete Farbtonauswahl und UV-Filterwirkung ■ geeignete Holzqualität^{b)} 	4 bis 6 Jahre	8 bis 10 Jahre		3 bis 4 Jahre	5 bis 8 Jahre	2 bis 3 Jahre
2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schäden im Holzgefüge ■ Absplitterungen, Verwindungen und Verformungen; vereinzelte Oberflächenrisse ■ Holzdübel ■ scharfe Kanten, bedingt behebbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringe mechanische Beanspruchung ■ bedingt geeignete Farbtonauswahl und/ oder UV-Filterwirkung ■ bedingt geeignete Holzqualität^{b)} 	3 bis 4 Jahre	4 bis 8 Jahre		2 bis 3 Jahre	4 bis 5 Jahre	3 bis 4 Jahre
3	<ul style="list-style-type: none"> ■ lose Äste, defekte Holzverdübelung ■ mangelhafte Konstruktion ■ offene Hirnholzflächen, offene Brüstungen, Fugen und Holzdübel ■ Holzverbindungen und Verklebung defekt; Abschälungen ■ Aufquellung; viele Risse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ funktionsbedingte mechanische Beanspruchung ■ ungeeignete Farbtonauswahl und UV-Filterwirkung ■ ungeeignete Holzqualität^{b)} 	2 bis 3 Jahre	2 bis 4 Jahre				nur dekorative Beschichtung ohne Schutzfunktion

a) BFS-Merkblatt Nr. 18 »Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen im Außenbereich«

b) Holzqualität = Holzart + Holzgüte + Schnittart

Unterschieden werden Beschichtungsstoffe in farblose Lacke, Lasuren und deckende Beschichtungen. Farblose Lacke (Klarlacke) bieten in der Regel keinen ausreichenden Schutz gegenüber UV-Strahlen. Sie sollten nur angewendet werden, wenn der Hersteller das Produkt mit speziellen Strahlenschutz-eigenschaften auslöst. Lasuren weisen im Vergleich zu den Klarlacken Pigmentanteile auf, die den Holzuntergrund mehr oder weniger durchscheinen lassen.

Es gibt minimal schichtbildende Imprägnierlasuren und schichtbildende Lasuren. Der Vorteil von Lasuren ist deren einfache Renovierbarkeit, der Nachteil sind kürze Renovierungsintervalle im Vergleich zur deckenden Beschichtung (Holzfarbe).

Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich werden nach drei Anwendungsstufen, die sich auf die Maßhaltigkeit des Untergrundes beziehen, eingeteilt: nicht maßhaltig (zum Beispiel Zäune, Schalungen), begrenzt maßhaltig (zum Beispiel Fachwerk, Dachuntersichten) und maßhaltig (zum Beispiel Fenster, Außentüren). Von den Herstellern werden die Beschichtungsstoffe einer oder mehreren Anwendungsstufen zugeordnet.

Die erste Schicht eines Beschichtungssystems auf Holz ist die Grundierung. Möglich ist auch eine Vorbehandlung des Holzes beziehungsweise der Holzwerkstoffe mit einem zugelassenen Holzschutzmittel. Der weitere Beschichtungsaufbau umfasst die Zwischen- und Schlussbeschichtung. Dabei müssen die einzelnen Komponenten des Beschichtungssystems aufeinander abgestimmt und miteinander verträglich sein. Auch sind alle scharfen und gefasten Kanten an Außenbauteilen zu runden (Rundungsradius $R \geq 2$ mm), um eine ausreichende Schichtdicke an der Kante und damit Kantenschutz zu erreichen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass Risse in der Holzoberfläche durch Beschichtungen nicht dauerhaft überbrückt werden. Bei bewitterten Oberflächen von Hölzern und Holzwerkstoffen, die eine ausgeprägte Rissigkeit aufweisen, ist dann ein vollflächiger Feuchteschutz nicht mehr erreichbar. Besonders Sperrholzplatten sind schadenanfällig, wenn kein angemessener Feuchtigkeitsschutz durch ein Beschichtungssystem besteht (Bild 99).



Bild 99 ■ Ablösung
des Deckfurniers an
Sperrholzplatten infolge
von unzureichendem
Feuchteschutz

2.8.5 Anwendung von Holzschutzmitteln

Für die Anwendung von Holzschutzmitteln besteht ein Minimierungsgebot. Holzschutzmittel sind nur anzuwenden, wenn Holz im verbauten Zustand durch holzschädigende Organismen gefährdet ist und bauliche Maßnahmen oder die natürliche Dauerhaftigkeit der ausgewählten Hölzer allein keinen ausreichenden Schutz bieten. Eine solche Situation entsteht beispielsweise, wenn eine Unverhältnismäßigkeit baulicher Maßnahmen gegenüber der Anwendung von Holzschutzmitteln zur Erlangung des Schutzzieles besteht oder die Behandlung mit Holzschutzmitteln die fachlich sinnvollste Anwendung darstellt (Bild 100). Dann sind nach Ausschöpfung baulicher Maßnahmen zusätzlich vorbeugende Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800-3 [26] vorzunehmen. Nicht notwendig sind Holzschutzmittel, wenn keine Gefährdung vorliegt oder diese so unbedeutend ist, dass keine Gefahr eines Bauschadens besteht. Im modernen Holzbau sind Holzschutzmittel in der Regel obsolet.



Bild 100 ▪ Mit Holzschutzmittel behandelte Leitungsmasten aus Holz und zusätzlichem Schutz (Fürstenberg-Permadur®-System) im Bereich der sensiblen Erd-Luft-Zone

Generell ist die Anwendung von vorbeugend wirksamen Holzschutzmitteln für Aufenthaltsräume nicht zulässig. Das betrifft alle Hölzer, die unmittelbar in Aufenthaltsräumen verwendet werden.

Grundsätzlich müssen Holzschutzmaßnahmen rechtzeitig und sorgfältig geplant werden. Bei tragenden Holzbauteilen dürfen Holzschutzmaßnahmen nur von Fachbetrieben und qualifizierten Fachleuten ausgeführt werden. Die erforderlichen Kenntnisse und Qualifikationen sind nachzuweisen.

Holzschutzmittel sind biozidhaltige Produkte zum Schutz des Holzes und werden entsprechend ihrer Wirksamkeit in

- vorbeugend wirksame Holzschutzmittel und in
- bekämpfend wirksame Holzschutzmittel
- unterteilt. Sie können wasserbasierend als auch lösemittelhaltig sein.

In Deutschland dürfen nur solche Holzschutzmittel angewendet werden, die nach den geltenden gesetzlichen Bestimmungen verkehrsfähig und für den vorgesehenen Einsatzzweck verwendbar sind. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) ist das Zulassungsorgan für Holzschutzmittel in Deutschland. In Verkehr gebrachte Holzschutzmittel durchlaufen bei dieser Institution das Zulassungsverfahren und erhalten eine Zulassungsnummer. Die Anzahl zugelassener Holzschutzmittel ist seit Jahren rückläufig.

Auch Schwammsperrmittel zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms gehören zu den Holzschutzmitteln, wenngleich es sich nur um eine Durchwachungssperre gegen frisch auskeimende Hausschwammmyzelien handelt und nicht um eine Abtötung des Pilzes.

Gegen holzzerstörende Insekten sind bekämpfende Holzschutzmittel immer auch vorbeugend wirksam. In Abhängigkeit von den Wirkstoffen können sie gegebenenfalls auch vorbeugend wirksam gegen holzzerstörende Pilze sein. Informationen dazu sind aus den Zulassungen und Technischen Merkblättern der Hersteller zu entnehmen.

Holzschutzmittel dürfen nur in den Verfahren angewendet werden, für die sie zugelassen sind. Es stehen mehrere unterschiedliche Anwendungsverfahren zur Verfügung, die sich im Hinblick auf den technischen Aufwand und die im Holz zu erzielende Eindringtiefe wesentlich unterscheiden. Die Einhaltung der vorgegebenen Auf- und Einbringmengen ist entscheidend für den Schutzerfolg. Unterschieden wird in Druckverfahren und Nichtdruckverfahren.

Zu den Druckverfahren gehört die Kesseldrucktränkung (Bild 101). Mit diesem in stationären, geschlossenen Anlagen ausgeführten Tränkungsverfahren lassen sich die besten Ergebnisse bezüglich der Eindringtiefe im Holz erzielen.

Die Nichtdruckverfahren werden in Einlagerungsverfahren (z. B. die Trogtränkung in Gebrauchsklasse GK 1 und 2) und Oberflächenverfahren (z. B. Fluten, Sprühen/Spritzen, Streichen) unterschieden.

Eine Sonderstellung bei der Behandlung von Holz mit Holzschutzmitteln nimmt das Bohrlochverfahren ein, das seine Hauptanwendung in der Altbau-sanierung besitzt. Es kommt in der Regel zur Bekämpfung eines Insektenbefalls oder bei der Anwendung von Schwammsperrmitteln am Mauerwerk zum

Einsatz. Das Verfahren wird als drucklose Bohrlochtränkung oder als Bohrlochdrucktränkung (vgl. Bild 102) ausgeführt.



Bild 101 ■ Anlage zur Kesseldrucktränkung



Bild 102 ■ Bohrlochdrucktränkung an einem Deckenbalkenkopf im Rahmen einer Bekämpfungsmaßnahme

3 Schadenbeispiele im Außenbereich

3.1 Erdberührte Bauteile

3.1.1 Schadenträchtiger Gebäudesockel

Situation

An achteckigen Ausstellungspavillons in Holzkonstruktion wurden die Stützenfüße bis unter die Betonpflasterfläche geführt. Der Schaufensterbereich war arkadenähnlich überdacht und vor Niederschlag geschützt. Eine Sockelausbildung war nicht erfolgt. Die Stützenfüße wurden nur mit einer Folie zum anliegenden Erdboden geschützt. Im Rahmen von Renovierungsarbeiten wurden an den Stützenfüßen und weiteren Holzbauteilen Pilzschäden in der Erd-Luft-Zone festgestellt (Bild 103 und Bild 104).

Ursache

Der Kontakt mit Erdreich sollte für Holzbauteile grundsätzlich vermieden werden. Es handelt sich bei Erdkontakt um die höchste Beanspruchung für Holz. Das Fehlen geeigneter Abdichtungsmaßnahmen im Sockel hat zu den Pilzschäden geführt, auch ohne Niederschlagseinwirkung aufgrund des Regenschutzes durch die Arkaden. Im Erdboden ist immer mit Feuchtigkeit zu rechnen (siehe dazu auch DIN 18533-1 [43]).

Stellungnahme

Der Sockel stellt die Höhendifferenz zum Terrain dar und soll die darüber liegende Konstruktion dauerhaft vor schädlichen Einflüssen schützen.

Feuchteschutztechnische Maßnahmen sind die wesentliche Voraussetzung für die dauerhafte Funktionstüchtigkeit einer Holzkonstruktion. Ein ständiger Erdkontakt liegt vor, wenn Holzbauteile auf dem Erdreich aufliegen oder sich im Erdreich befinden. Diese Situation entspricht der Gebrauchsklasse 4 (GK 4).

Die fehlende Abdichtung der Holzkonstruktion hat zu einer unzuträglichen Feuchtung mit der Folge des biotischen Holzabbaus geführt. Die angeordnete Folie stellt keine geeignete Abdichtungsmaßnahme dar. Es kann nicht erwartet werden, dass der Dachüberstand der Arkaden allein für einen dauerhaft trockenen Zustand der Hölzer im Erdbodenbereich sorgt. Die festgestellten Nassfäulepilzschäden dokumentieren eine unzuträgliche Feuchtebeanspruchung

der Hölzer im erdberührten Bereich. Auch chemischer Holzschutz kann das Problem allein nicht lösen.

Am Sockel besteht eine Schnittstelle zwischen Holzbau und Abdichtungsarbeiten. Die Sockelausbildung ist ein wichtiges Detail im Holzbau. Die Abstände zwischen Unterkante Holz und Oberkante Gelände sollten nach DIN 68800-2 [25]

- ≥ 30 cm oder
- ≥ 15 cm, wenn zum Beispiel ein wasserableitender Belag mit mindestens 2 % Gefälle vorhanden ist, oder
- ≥ 5 cm mit zusätzlichen geeigneten Abdichtungsmaßnahmen betragen.



Bild 103 ■ Zustand des Stützenfußes nach Aufnehmen des Betonpflasters im Arkadenbereich



Bild 104 ■ Nach Freilegung sichtbar gewordener Pilzschaden am Holz

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen vier Beispiele für Sockelausbildungen mit unterschiedlichen Abständen zwischen Unterkante Holz und Oberkante Gelände (Bild 105 bis Bild 107) sowie einen ebenerdigen Austritt (Bild 108). Weitere gute Details zur Sockelausbildung enthält die österreichische Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau [44].

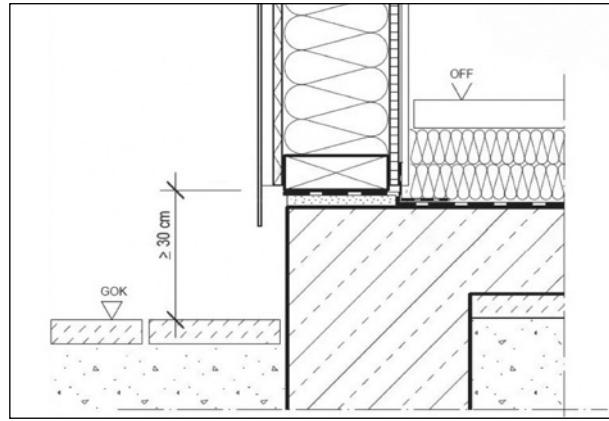


Bild 105 ■ Sockelausbildung: Abstand zwischen Unterkante Holzbauteil und Gelände ≥ 30 cm bei Plattenbelag; nach DIN 68800-2 ([28], S. 102)

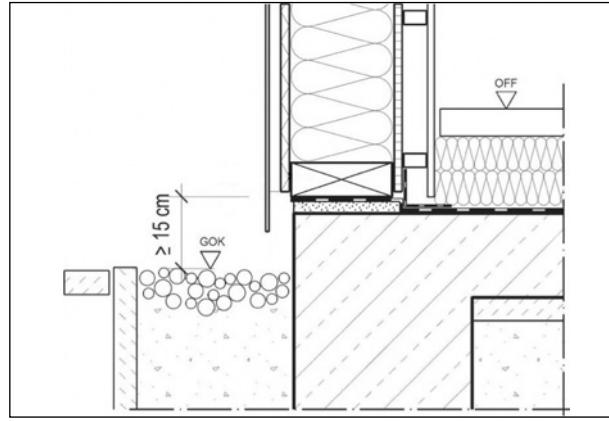


Bild 106 ■ Sockelausbildung: Abstand zwischen Unterkante Holzbauteil und Gelände ≥ 15 cm bei Verwendung einer Kiesrollsicht; nach DIN 68800-2 ([28], S. 102)

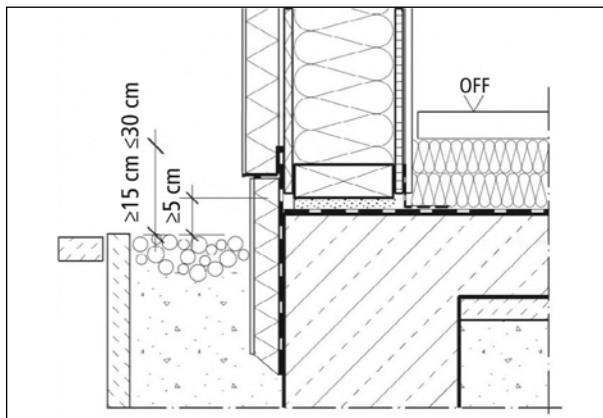


Bild 107 ■ Sockelausbildung: Abstand zwischen Unterkante Holzbauteil und Gelände ≥ 5 cm mit Abdichtung; nach DIN 68800-2 ([28], S. 102)

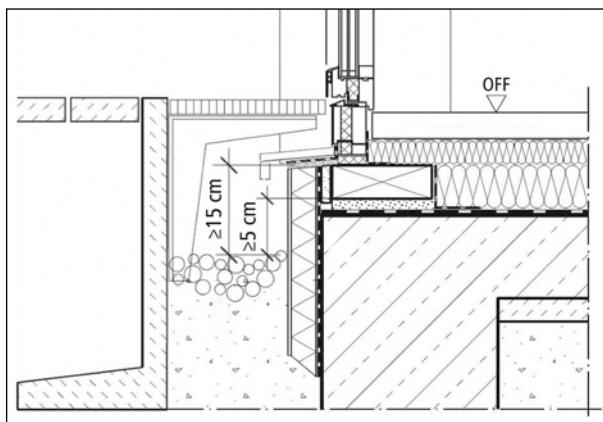


Bild 108 ■ Sockelausbildung: Holzbauteil unter Gelände mit Abdichtung und Gitterrost; nach DIN 68800-2 ([28], S. 102)

Die folgenden wesentlichen Punkte sind bei der Sockelausbildung zu beachten:

- Ein Höhenunterschied zwischen Fußschwelle und Außenniveau von ≥ 15 cm ist zu bevorzugen.
- Holzkonstruktionen sollten nicht unter Außenniveau eingebaut, eingeschüttet oder überbaut werden.
- Holzfassaden sollten nicht bis in den Spritzwasserbereich von 30 cm über Gelände geführt werden.
- Im Hinblick auf eine robuste Konstruktion empfiehlt sich ein zurückspringender Sockel mit definierter Tropfkante.

3.1.2 Rundholzstützen im Erdkontakt

Situation

Für einen teilüberdachten Freiluftgrillplatz wurden Rundholzstützen aus chemisch ungeschütztem Kiefernholz verwendet. Das Auftreten von kreisrunden Insektenausfluglöchern in der Erd-Luft-Zone veranlasste die Betreiber die Stützenfüße freizulegen. Mit der Freilegung wurde offenkundig, dass die Holzsubstanz durch Pilzbefall nicht mehr tragfähig war und die erkannten Insektenschäden nur den Indikator für das Vorliegen eines signifikanten Pilzschadens darstellten (Bild 109 und Bild 110).

Ursache

Holzbauteile in Erdkontakt unterliegen höchster Beanspruchung. Auch eine Teilüberdachung darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein Eintrag von Niederschlagswasser in den Fußboden erfolgt. Bodenfeuchte ist immer vorhanden. Das Kernholz der Kiefer kann dieser hohen Beanspruchung ohne chemischen Schutz nicht widerstehen. Besonders Moderfäulepilze treten bei Erdkontakt auf. Der Befall durch die Holzinsekten ist erst nach dem Pilzschaden eingetreten.



Bild 109 ■ Stützenfuß mit runden Ausfluglöchern von Holzinsekten



Bild 110 ▪ Sichtbar gewordene Zerstörung der Holzsubstanz durch Braunfäule im erdbe- rührten Bereich nach Freilegung/Aufnehmen des Pflasters

Stellungnahme

Bauteile mit ständigem Erdkontakt sind in die Gebrauchsklasse 4 (GK 4) nach DIN 68800-1 [4] einzustufen. Von einem ständigen Erdkontakt spricht man, wenn sich Holzbauteile im Erdreich befinden oder wenn sie auf dem Erdboden aufliegen. Auch eine gelegentlich ausgeführte Umhüllung von Stützenfüßen mit Beton ist ebenso als Erdkontakt anzusehen.

Keiner besonderen Schutzmaßnahmen bedürfen lediglich Pfahlgründungen, die sich ständig unterhalb des Grundwasserspiegels befinden. Sie sind als unkritisch anzusehen. Schäden am Holz stellen sich hier erst ein, wenn der Grundwasserspiegel abgesenkt wird.

Hölzer mit Erdkontakt sollten aus baulicher Sicht möglichst vermieden werden. Ausnahmen stellen im Wesentlichen Masten und Pfähle dar, die einen auf diese hohe Beanspruchung ausgelegten chemischen Schutz erhalten (z. B. in Form einer Kesseldrucktränkung) und wo Holzschutzmittel mit speziellen Wirkstoffen gegen diese Beanspruchung Anwendung finden. Für Gebrauchsklasse 4 muss das einzusetzende Holzschutzmittel die Prüfprädikate insektenvorbeugend (I_V), pilzwidrig (P), witterungsbeständig (W) und moderfäulewidrig (E) erfüllen.

Anzumerken ist, dass eine Behandlung von Stangen, Masten und Pfählen mit Kreosot (Steinkohlenteeröl) und auch die häufig ausgeführte Teerfuß-imprägnierung als kombinierte Methode zum Schutz salzgetränkter Stangen und Masten aus toxikologischen und ökologischen Gründen für die Umwelt in Deutschland beziehungsweise für den deutschen Markt nicht mehr erfolgt (Bild 111). Eine Ausnahme für die Teerölbehandlung stellen aus sozioökonomischen Gründen derzeit noch Bahnschwellen dar. An Ersatzstoffen für Teeröl wird jedoch geforscht.



Bild 111 ■ Teeröl hat als Holzschutzmittel in Deutschland keine Zukunft mehr.

Die festgestellten kreisrunden Ausfluglöcher waren vom Rothalsbock. Wenn gleich der Käfer als Waldinsekt eher Stämme und Wurzelstücke bevorzugt, ist sein Vorkommen an ständig feuchtem Bauholz möglich. Dabei ist die Entwicklung des Insekts an die Holzfeuchte gebunden, denn die Larven des Bockkäfers können nicht überleben, wenn eine Entwicklung holzzerstörender Pilze nicht mehr gegeben ist. Das heißt, es muss eine Holzfeuchte im Bereich der Fasersättigung (rund 30 %) an den Stützenfüßen langfristig vorgelegen haben, um den Käfern eine Entwicklungsmöglichkeit zu bieten.

Im Vergleich zur Zerstörungskraft des Pilzes ist der Insektenschaden zweitrangig. Die sichtbaren Ausfluglöcher der Käfer gaben jedoch den Hinweis, dass biotische Schäden vorliegen, die zu einer Überprüfung der Stützenfüße führten.

Auf einen Wiedereinbau mit Erdkontakt wurde für die Rundholzstützen verzichtet. Mittels metallischer Stützenfüße wurde ein Abstand zum Erdboden von 15 cm realisiert, ergänzt um eine Kiesschüttung als Spritzschutzmaßnahme.

3.1.3 Verkürzte Lebensdauer von Palisaden

Situation

Als Palisaden wurden Pfähle aus Fichte, die mit einem Holzschutzsalz mittels Tropfränkung chemisch geschützt wurden, im Erdkontakt verbaut. Nach einer Standzeit von nur drei Jahren waren sämtliche Pfähle nicht mehr standsicher. Eine geringe mechanische Berührung der Pfähle reichte bereits aus, um diese abzubrechen (Bild 112).



Bild 112 ■ Zerstörte Holzpfähle nach kurzer Standzeit von drei Jahren

Ursache

Als besonders kritisch erweist sich die Erd-Luft-Zone. Es handelt sich um eine Zone von circa 40 cm unterhalb und circa 30 cm oberhalb der Bodengleiche eines Holzpfahls, eines Masts oder einer Stange. Dieser Bereich ist deutlich stärker gefährdet als die übrigen Bereiche des Pfahls, weil ausreichend Feuchtigkeit und Sauerstoff für die Entwicklung holzzerstörender Pilze vorhanden sind. Es handelt sich um eine mikrobiologisch aktive Grenzfläche.

Die ausgeführte Trogtränkung als chemische Holzschutzmaßnahme war nicht ausreichend, um eine Standdauer von mindestens zehn Jahren zu gewährleisten.

Stellungnahme

Pfähle, Masten und Stangen werden in einer Vielzahl von Anwendungen benötigt. Besondere Schwerpunkte sind der Obst-, Wein- und Hopfenanbau (Bild 113) sowie Masten für Strom- und Telefonleitungen.

Als langlebig erweisen sich natürlich dauerhafte Holzarten wie Edelkastanie und Robinie ohne Splintholzanteil. Eine Lebensdauer von 15 Jahren ist möglich. Das Kernholz der Europäischen Lärche erreicht im Vergleich eine Standdauer von circa zehn Jahren.

Fichte ist eine von Natur aus wenig dauerhafte Holzart. Soll diese Holzart als Pfahl mit Erdkontakt Anwendung finden, bedarf diese eines geeigneten chemischen Holzschutzes mit einem zugelassenen Holzschutzmittel. Hierfür eignet sich als Einbringverfahren nur die Kesseldrucktränkung, um die benötigte Eindringtiefe zu erzielen. Mit Nichtdruckverfahren, wie der Trogtränkung, ist kein ausreichendes Schutzniveau erreichbar.



Bild 113 ■ Chemisch geschützter Holzpfahl im Obstbau

Fichte ist ebenso wie Tanne schwer imprägnierbar. Um eine ausreichende Schutzmittelaufnahme zu gewährleisten, müssen die Hölzer in der Erd-Luft-Zone perforiert werden (Bild 114 und Bild 115). Durch die 2 bis 3 cm tiefen Bohrlöcher kann das Schutzmittel besser eindringen und die Holzschutzmittel-aufnahme wird deutlich erhöht. Die Methode der Perforierung bei schwer tränkbaren Holzarten sowie bei frei liegendem Kernholz wird bereits seit den 1950er-Jahren angewendet.



Bild 114 ■ Sichtbare Perforierung in der Erd-Luft-Zone eines chemisch geschützten Strommastes

Einen weiterentwickelten Schutz stellt das patentierte Fürstenberg-Permadur®-System dar (Bild 116). Dabei wird der vorher chemisch geschützte Mast im Bereich der späteren Erd-Luft-Zone mit Messingfolie umwickelt und diese mit einem Schrumpfschlauch fixiert. Bei Fichte wird vorher noch perforiert. Die erwartete Standzeit beträgt 25 Jahre.



Bild 115 ■ Herstellung der Perforierung, in geringen Abständen werden kleine Löcher in das Holz gebohrt



Bild 116 ■ Mastenfuß mit dem Fürstenberg-Permadur®-System

3.1.4 Vorsorgliche Zustandsüberprüfung an einer Trägerbohlwand

Situation

Für die Baugrube einer großen Baumaßnahme war eine Trägerbohlwand als Berliner Verbau erstellt worden (Bild 117). Bedingt durch eine Beanspruchung mit Schichtenwasser und einer geplanten Standzeit des Verbaus von bis zu fünf Jahren wurde eine vorsorgliche Überprüfung des Holzzustandes auf biotische Schäden angeordnet, um im Bedarfsfall Bauteilauswechselungen oder Verstärkungen vornehmen zu können.



Bild 117 ■ Rückverankerte Trägerbohlwand mit Holzausfachung

Bewertung

Bei Standzeiten über zwei Jahren sind an den Kanthölzern einer Trägerbohlwand biotische Schäden durch holzzerstörende Pilze nicht auszuschließen. Daher war eine vorsorgliche holzschutztechnische Untersuchung der Trägerbohlwand zu empfehlen. Diese erfolgte durch eine stichprobenartige Entnahme von Holzproben.

Stellungnahme

Wenn Baugruben nicht abgeböscht werden können, kommt vielfach zur Absicherung der Baugrube die Trägerbohlwand zum Einsatz. Die Trägerbohlwand, mit einer zwischen Trägerflanschen und Erdwand verkeilten waagerechten Ausfachung aus Holzbohlen, wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts beim Bau der Berliner U-Bahn entwickelt und wird deshalb Berliner Verbau genannt.

Durch Beschädigung oder durch Fäulnis geschädigte Bohlen beziehungsweise Kanthölzer dürfen nach DIN 4124 für die Trägerbohlwand nicht verwendet werden [63]. Auch ist die hölzerne Ausfachung nach Beendigung der Baumaßnahmen wieder zu entfernen, weil durch Fäulnis später Hohlräume im Erdreich mit dem Risiko von Absenkungen entstehen können.

Ziel der Untersuchung an der Holzausfachung war:

- Messung der Holzfeuchte,
- visuelle Begutachtung der Hölzer insgesamt, Feststellung von Myzelanhafungen, Holzverfärbungen und Holzschädigungen,
- Holzartenbestimmung,
- mikroskopische Auflichtuntersuchungen und Durchlichtuntersuchungen an Holzdünnabschnitten hinsichtlich Pilzhypen oder Abbauerscheinungen,
- Pilzbestimmung,
- bei Befall Einschätzung von Intensität und Tiefe.

Nach der Auswahl der Probeentnahmebereiche wurden Bohrkerne entnommen (Bild 118 und Bild 119). Die Bohrkernentnahme erfolgte an augenscheinlich nicht feuchtebelasteten Verbauhölzern als Nullproben und in augenscheinlich feuchtebelasteten Bereichen, zum Beispiel mit Pflanzenbewuchs oder Veralgung. Jeder Bohrkern wurde mit einer Nummerierung versehen; die Vorder- und Luftseite sowie Rück- und Erdseite wurden entsprechend bezeichnet.



Bild 118 ■ Probenentnahmestelle am Kantholz der Ausfachung

Die makroskopische und mikroskopische Untersuchung zeigte, dass nur an einigen wenigen Bohrzylin dern ein geringer Pilzbefall festgestellt werden konnte (Bild 120). Da sich Fäulniserscheinungen tendenziell verstärken werden, wurde eine erneute stichprobenartige Untersuchung nach ein bis zwei Jahren empfohlen.

Die Ausfachungshölzer bestanden überwiegend aus Fichte. Douglasie, Kiefer und Lärche waren nur im geringen Umfang vorhanden.



Bild 119 ▪ Entnommener Bohrkern mit feuchtem Erdreich an der Rückseite



Bild 120 ▪ Für die mikroskopische Untersuchung vorbereitete Bohrkerne (Foto: Björn Weiß, Dresden)

3.2 Dielen und Bohlenbeläge

3.2.1 Verfärbung von WPC-Dielen

Situation

Als Terrassenbelag wurden 3 cm dicke WPC-Dielen im Farbton Grau nach Herstellervorschrift verlegt. Nach rund einem Jahr Nutzung wurde eine Fleckenbildung mit braungelben und grünen Verfärbungen am Belag bemängelt. Dabei waren die braungelben Verfleckungen im geschützteren Terrassenbereich und die grünen Verfärbungen im direkt bewitterten Bereich zumeist in Verbindung mit Pflanzgefäßern aufgetreten (Bild 121 bis Bild 123). Die Verfleckungen ließen sich durch übliche Reinigung leicht entfernen (Bild 124).

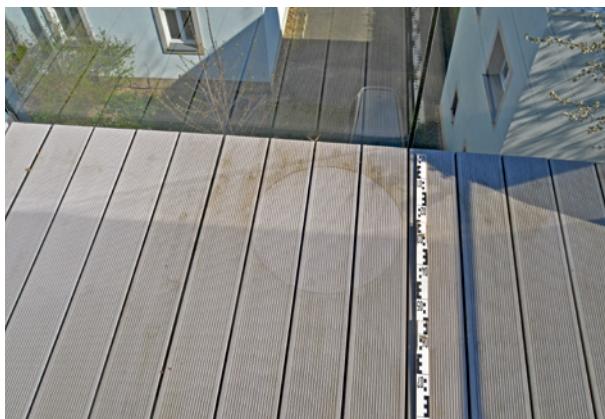


Bild 121 ▪ WPC-Dielen im bewitterten Bereich der Terrasse mit grüner Verfärbung um einen Pflanztopfstandort

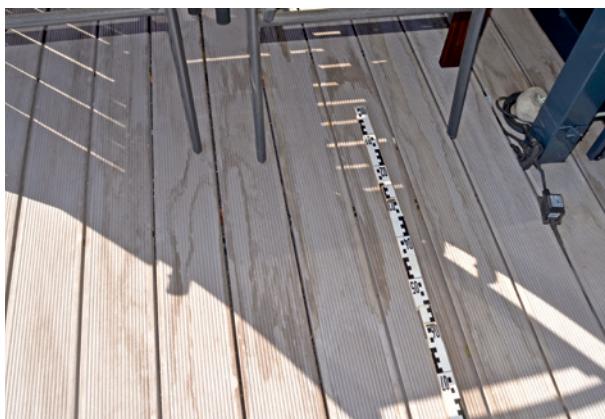


Bild 122 ▪ WPC-Dielen im witterungsgeschützten Bereich der Terrasse mit braungelber Verfärbung



Bild 123 ■ Grauer Farnton der Dielen nach Entfernung der grünen Verfleckung aufgrund von Biomasse

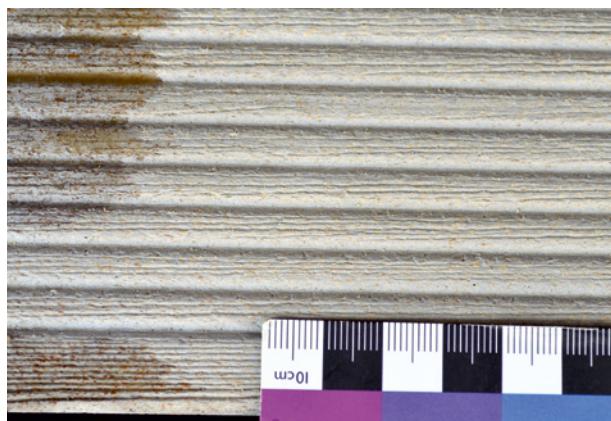


Bild 124 ■ Nach Reinigung mit Wasser und Bürste sind gelbbraune Partikel in der Polymermatrix der Dielen sichtbar.

Ursache

Die braungelbe Verfleckung entstammt ursächlich dem Inhaltsstoff Lignin in den Terrassendielen aus WPC. In den Bereichen, wo das durch UV-Strahlung in wasserlösliche Komponenten zerlegte Lignin nicht durch Regen abgewaschen wurde, entstand die braungelbe Verfleckung. Diese Reaktion des Lignins durch unvermeidbar auftreffende UV-Strahlung ist eine Holzeigenschaft und aus technischer Sicht kein Mangel. Zusätzlich bewirkte der Einfluss von Biomasse und üblicher Verschmutzung eine Grünfärbung (Algen).

Die Verfleckung entsteht, wenn die Flecken durch natürlichen Regen nicht entfernt oder die Dielen nicht mit Wasser gereinigt werden.

Stellungnahme

Bei den verlegten Terrassendielen als Hohlkammerprofil handelte es sich um einen Holzpolymerwerkstoff (WPC). Dieser Verbundwerkstoff besteht überwiegend aus Holzfasern (Holzmehl-Anteil $\geq 50\%$) sowie Kunststoffen und Additiven [53]. Er wird auf dem Markt in verschiedenen Farbtönen angeboten.

Der Anteil an Holzfasern hat Einfluss auf die Eigenschaften des Werkstoffs. Auch WPC-Dielen quellen und schwinden.

Holz besteht aus den Hauptbestandteilen Cellulose, Hemicellulose und Lignin sowie weiteren Nebenbestandteilen. Besonders bei der Verwendung von Holz im Außenbereich können Inhaltsstoffe, wie Farb- oder Gerbstoffe, ausgewaschen werden. Die Vergrauung einer Holzoberfläche ist das Ergebnis einer Aufspaltung des Holzbestandteils Lignin in wasserlösliche Bestandteile durch UV-Strahlung (photochemischer Abbau). Dabei führen Bewitterung und Sonne zu einer einheitlich grauen Fläche, weil die Verfärbung ausgewaschen wird.

Die bewitterte und ungeschützte Dielenfläche ist somit einheitlich grau und ohne störende braungelbe Flecken. Die Flecken verbleiben nur dort auffällig, wo es zu keinem Abwaschen derselben von der Holzoberfläche durch Regeneinwirkung kommt, zum Beispiel unter aufgestellten Tischen, Stühlen etc. Die freigesetzten Inhaltsstoffe werden nicht weggespült. Die Neigung zur Fleckenbildung ist damit von der Einbausituation abhängig.

Keinen Zusammenhang zur ligninbedingten braungelben Verfleckung hat die Veralgung als Biofilm. Dieser grüne Überzug tritt bei einer stärkeren Feuchtebeanspruchung auf. Hier sind insbesondere Dielen, die bei Niederschlag stärker befeuchtet werden, betroffen. Auch eine Veralgung lässt sich mit Wasser reinigen.

Eine Verlegung der Dielen im Gefälle (mind. 1 %) wird dabei vorausgesetzt. Dadurch wird ein Abspülen von Schmutz und Regen gefördert. Da die Holzfasern unter hohem Druck und Temperatur in einer Polymer-Matrix eingebettet sind, kann Schmutz nur schwer eindringen und verbleibt auf der Oberfläche.

Die Dielen erfordern eine Pflege als Unterhaltsreinigung. Wasser, gegebenenfalls ein Neutralreiniger und eine Bürste sind ausreichend. Der Einsatz eines Hochdruckreinigers ist möglich, aber nicht unbedingt notwendig.

Aus technischer Sicht waren die Dielen nicht mangelhaft. Die Verfleckung ist der Eigenschaft des Holzinhaltsstoffs Lignin geschuldet, wenn keine Entfernung durch natürlichen Regen oder eine Reinigung durch die Nutzer erfolgt. Da die Verfleckung optisch als störend empfunden werden kann, bedarf es einer Reinigung und Pflege. Die Dielen sind somit unter dem Aspekt des Verfleckungsrisikos bei bestimmten Einbausituationen im Sinne einer Unter-

haltsreinigung nicht als vollständig wartungs-/pflegefrei einzustufen. Eine vergleichsweise aufwendige Wartung oder Pflege, wie beispielsweise bei beschichteten Holzbauteilen, ist bei WPC jedoch nicht notwendig.

Es ist zu erwarten, dass es mit der Zeit zu einem Abklingen der Erscheinung kommt und eine Stabilisierung eintritt. Die grünliche Algenbildung als Biofilm und eine übliche Verschmutzung durch den Gebrauch werden jedoch unvermeidbar sein.

An den gründlich gereinigten Dielen sind makroskopisch die gelbbraunen Holzbestandteile im eingefärbten Polymeranteil sichtbar (Bild 124). Erst die Einwirkung von UV-Strahlung führt wieder zur einheitlichen Vergrauung. Das ist jedoch kein Mangel.

3.2.2 Fleckenförmige Verfärbungen am Holz

Situation

An neu verlegten lasierten Terrassenhölzern war es zu dunkelbraunen bis schwarzen fleckenförmigen Verfärbungen gekommen (Bild 125). Es handelte sich um die dauerhafte Holzart Robinie. Die Verfleckungen wurden erst nach einem Regenschauer festgestellt.

Ursache

Die Holzoberfläche wurde mit Eisenionen beaufschlagt. Die Fleckenbildung ist durch eine Eisen-Gerbstoff-Reaktion entstanden. Sie entsteht bei Hölzern mit einem hohen Gehalt an wasserlöslichen Gerbstoffen (z. B. Eiche, Robinie, Bangkirai, Bilinga). Die Dünnschichtlasur konnte die chemische Reaktion nicht verhindern.



Bild 125 ■ Eisen-Gerbstoff-Reaktionsverfärbung an laserbehandelten Terrassendielen aus Robinie (Foto: Björn Weiß, Dresden)

Stellungnahme

Die Verfärbung war das Ergebnis einer chemischen Reaktion der Eisenionen mit den Gerbstoffen des Holzes. Die dunklen Flecke sind die Reaktionsprodukte. Es handelt sich um einen optischen Mangel. Ein Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften des Holzes besteht nicht.

Häufigste Ursache sind ergänzende Metallarbeiten an einer verlegten Holzterrasse (z. B. die Anbringung von Geländern). Durch herunterfallenden eisenhaltigen Schleifstaub auf die Holzoberfläche, infolge der Bearbeitung des Metalls, entsteht die Verfleckung. Auch kann zum Beispiel ein eisenhaltiger Rasendünger eine Eisen-Gerbstoff-Reaktion auslösen.

Untersuchungen des Thünen-Instituts für Holzforschung in Hamburg haben gezeigt, dass bereits geringe Eisenkonzentrationen von 10 bis 20 ppm ausreichen, um Verfärbungen zu erzeugen [59]. Um die Verfärbung auszulösen, muss das Holz befeuchtet werden (z. B. durch Regen), damit die Gerbstoffe mobilisiert werden. Daher werden solche Verfleckungen immer erst nach einem Regenguss an neu verlegten Hölzern gesichtet.

Entfernen lassen sich die Verfleckungen am besten durch Ausbleichen mit verdünnter Oxalsäure (Probeversuch notwendig).

3.2.3 Risse und Äste an einem Holzbohlenbelag

Situation

Im Rahmen der Neuerrichtung einer Wohnanlage wurde ein Holzbohlenbelag in der Holzart Lärche für die Balkone ausgewählt. Die Bohlen waren 140 mm breit und 26,5 mm dick. Sie waren an der Oberseite geriffelt und an der Unterseite genutet. Durch die Nutzer wurden vorhandene Risse und Äste in den Bohlen sowie ein leichter Harzaustritt bemängelt (Bild 126 und Bild 127).

Ursache

Balkonbeläge sind in der Regel keine Barfußdielen. Dies gilt besonders für Nadelholzdielen. Ausnahmen sind bestimmte tropische Hölzer wie zum Beispiel Cumaro, Ipé und Itaúba.

Äste und Risse sind holzspezifisch. Bestehen spezielle Anforderungen an das Aussehen bedürfen diese der konkreten Vereinbarung. Lärche ist eine Holzart, bei der Äste grundsätzlich zu erwarten sind und die erfahrungsgemäß zur Rissbildung neigt. Sind Dielen ohne Äste gewünscht, muss auf andere Hölzer, im Wesentlichen tropische Laubholzarten ausgewichen werden, denn diese sind oftmals astfrei.



Bild 126 ▪ Massiver Bohlenbelag aus Lärche als Balkonbelag



Bild 127 ▪ Äste im Holz und Risse um den Ast, die dem Faserverlauf folgen

Bei der gewählten Holzart Lärche ist die festgestellte Astigkeit und Rissbildung nicht zu bemängeln.

Stellungnahme

Eine allgemein gültige und verbindliche Sortierung für Balkon- und Terrassenbeläge gibt es nicht. Eine Grundlage für die Bewertung von massiven Bohlenbelägen stellt DIN 68365 [45] dar. Diese Norm nennt Sortierkriterien für hergestellte Balkonroste im nicht tragenden Bereich. Unterschieden wird in drei Güteklassen, wobei für Bretter und Bohlen die Gütekategorie 2 zur Anwendung kommt.

Die Gütekategorie 2 nach dieser Norm besagt, dass gesunde Äste mit einem Durchmesser von 5 cm als kleinste Breite und 7 cm als größte sichtbare Länge des Astes zulässig sind. Bei Kantenästen gilt als Breite die Bogenhöhe, d.h.

die Höhe des sichtbaren Astdurchmessers an der Oberfläche des Brettes von der Kante aus gemessen. Nicht zulässig sind faule und lose Äste sowie Astlöcher. Schwindrisse sind generell zulässig. Die zulässige Endrisslänge ab dem Brettende wird auf die Breite des Bauteils begrenzt. Für die Anwendung im tragenden Bereich gilt DIN 4074-1 [13] mit der Sortierklasse S10. Die Sortierkriterien sind ähnlich der DIN 68365 [45]. Holzsortierungen, die insbesondere das optische Erscheinungsbild (Aussehen) betreffen, bedürfen nach den Fachregeln des Zimmererhandwerks der vertraglichen Vereinbarung.

Risse im Holz entstehen durch Spannungen. Diese können wachstumsbedingt sein (z. B. Drehwuchs) oder durch natürliche oder technische Trocknung des Holzes entstehen. Die Rissbildung ist eine Holzeigenschaft. Diese wird durch die direkte Bewitterung noch verstärkt. Zum Beispiel entsteht bei zu feucht eingebauten Holzbelägen, die einer direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden, eine ausgeprägte Rissbildung infolge der Trocknung. Deshalb sollte eine schonende natürliche oder technische Trocknung zum Abbau der Spannungen vorgenommen werden. Bei Hölzern mit hoher Rohdichte (z. B. Massaranduba) ist die Trocknung langsam und zeitintensiv, während sich Lärche oder Douglasie schneller spannungsfrei trocknen lassen.

Risse auf der Holzoberfläche als radiale Trockenrisse, Hirnholzrisse an Dielen oder Brettern sowie Risse in Ästen und im Astbereich sind materialbedingte Eigenschaften des gewachsenen Holzes und trotz sorgfältiger Materialauswahl und Bearbeitung nicht gänzlich zu vermeiden. Risse entstehen, wenn das Holz schwindet. Die Ursache für Rissbildungen sind in der Anisotropie des Holzes begründet, die sich aus unterschiedlichen Schwindzugkräften in tangentialer und radialer Richtung ergeben. Überschreiten die Zugkräfte die innere Festigkeit des Holzes, reißt es. Durch eine schonende technische Trocknung des Holzes wird die Rissbildung reduziert.

Holzspezifische Risse, die im anatomischen Aufbau des Holzes begründet liegen, sind Markrisse (auch als Kernrisse bezeichnet). Das Auftreten von MarkrisSEN kann durch die Trocknungsbedingungen nicht beeinflusst werden. Bei Dielenquerschnitten mit Markröhre sind diese Risse im Wesentlichen nicht zu verhindern. Ebenso sind Oberflächenrisse holzanatomisch bedingt. Oberflächenrisse im Millimeterbereich verlaufen entlang der Holzfaserrichtung. Bei Trockenheit sind sie stärker sichtbar; wird das Holz nass, schließen sie sich [47].

Hirnriffe, die vom Brettende in die Brettachse hinein verlaufen, sind ebenfalls Risse, die bedingt durch die Struktur des Holzgewebes unvermeidbar sind. Gerade bei Lärchenholz ist aus der Praxis bekannt, dass Hirnriffe häufig auftreten. Ebenso sind Risse im Astbereich vergleichbar mit Rissen im Hirnholz, denn Risse um den Ast folgen dem Faserverlauf und sind auf das unterschiedliche

Schwindverhalten vom Astgewebe einerseits und dem umgebenden Holzfasergewebe andererseits zurückzuführen.

Grundsätzlich gilt, dass durch die Risse die Gebrauchstauglichkeit der Diele nicht aufgehoben werden darf. Deshalb wird insbesondere bei Rissen mit deutlichem Höhenversatz unter dem Aspekt der Unfallvermeidung (Stolpergefahr) der Austausch der Dielen empfohlen. Als Orientierung gilt hier der maximal zulässige Höhenunterschied zwischen benachbarten Dielen mit 3 mm an den Längs- und Querstößen.

Aus optischer Sicht sollten größere Kantenausbrüche, die das Erscheinungsbild der Fläche beeinträchtigen, zu einem Austausch der Diele führen, insbesondere wenn sich die Ausbrüche im unmittelbaren Sichtbereich befinden und dadurch besonders auffällig und störend werden. Zugleich haben viele Risse ihre Ursache in Wachstumsanomalien und sind damit beim Verlegen erkennbar und können aussortiert werden.

Harzaustritt ist bei Lärche, einer sehr harzreichen Holzart, kein Mangel. Ebenso ist eine leicht konkave Verformung der Diele kein Grund für deren Austausch, sofern keine Stolpergefahr besteht. Eine leichte Verformung der Diele ist holzanatomisch begründet und stellt eine Holzeigenschaft bei Fladerbrettern (tangentialer Einschnitt) dar. Um Schüsseln zu vermeiden, werden Dielen von weniger als 120 mm Breite empfohlen. Besonders bei stark arbeitenden Holzarten (z.B. Massaranduba) sollte diese Breitenbegrenzung beachtet werden [48].

Sibirische und Europäische Lärche sind als Belag grundsätzlich geeignet. Im Hinblick auf die Schilfereigenschaften der Lärche bringt eine gebürstete Oberfläche Vorteile. Allgemein sind im Vergleich zur Riffelbohle glatte Oberflächen pflegeleichter und sie trocknen schneller.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass folgende Risse und Holzablösungen holztypisch sind und sich nicht vermeiden lassen:

- Markrisse bei Bohlenquerschnitten mit eingeschlossener Markröhre,
- Ringrisse an der Grenze zum marknahen Jugendholz,
- radiale, in die Diele hineinlaufende Trocknungsrisse auf der linken Brettseite,
- feine Haarrisse als Oberflächenrisse (typisch für schwere Laubhölzer),
- Oberflächenrisse in unterschiedlichen Richtungen des Faserverlaufs (typisch für Tropenhölzer),
- schuppenförmige Ablösungen von Holzschichten, sogenannte Schilfer, auf der rechten Brettseite (besonders bei Nadelhölzern).

3.3 Stützen und Balken

3.3.1 Schwachstellen an Holzkonstruktionen im Außenbereich

Situation

An einer Balkonanlage mit Außentreppen aus Holz wurden nach weniger als zehn Jahren Standzeit umfängliche biotische Holzschäden festgestellt, die eine Erneuerung der Balkonanlage erforderlich machten (Bild 128 bis Bild 132). Die Balkonanlage war aus chemisch geschütztem Holz hergestellt und deckend beschichtet worden.



Bild 128 ▪ Vollständig zerstörter Bohlenbelag



Bild 129 ▪ Braunfäule mit Würfelbruch und Pilzfruchtkörper von einer Porenenschwammmart



Bild 130 ▪ Zerstörte Holzsubstanz unter der Beschichtung



Bild 131 ▪ Marode Holztreppe: Über die Haarfuge zwischen Wange und Stufe ist unzuträglich Wasser eingedrungen.



Bild 132 ▪ Im Holz inneren zerstörter Balkenkopf. Über den Riss an der Balkenoberseite ist Feuchtigkeit eingedrungen und hat Pilzwachstum hervorgerufen.



Bild 133 ■ Fruchtkörper des Tannenblättlings am Hirnholz des Handlaufs

Ursache

Die wesentlichste Ursache für die Holzschäden waren unzureichende Austrocknungsbedingungen des Holzes infolge von Kapillarfugen zwischen den Holzbauteilen. Dort konnte Wasser eindringen, aber nur schlecht wieder austrocknen. Es wurde versäumt, die Regeln des baulichen Holzschutzes umzusetzen. Bewitterte Holzbauteile wurden nicht regensicher abgedeckt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass Mängel im baulichen Holzschutz durch chemische Holzschutzmaßnahmen auf Dauer nicht kompensiert werden können.

Stellungnahme

Niederschlägen ausgesetzte Holzbauteile sind der Gebrauchsklasse 3.1 und 3.2 gemäß DIN 68800-1 [4] zuzuordnen (Tabelle 25). Auch dann, wenn natürlich dauerhafte Holzarten Anwendung gefunden haben oder die Holzbauteile mit einem Holzschutzmittel behandelt wurden, müssen Niederschläge schnell von der Holzoberfläche abgeleitet werden und im Bereich der Anschlüsse und Stöße, der Verbindungsmittel und des Hirnholzes eine Anreicherung von Wasser ausgeschlossen sein.

Die Holzfeuchte ist ausschlaggebend für die Entwicklung von Pilzen. Holzzerstörende Pilze können sich erst ab einer Holzfeuchte oberhalb des Fasersättigungsbereichs entwickeln. Der Fasersättigungsbereich ist keine feststehende Größe, sondern stellt die Grenze zwischen dem Vorhandensein von gebundenem Wasser in den Zellwänden und freiem Wasser im Zellhohlraum dar (siehe Bild 14). Diese Grenze variiert jedoch in Abhängigkeit von der Rohdichte und den Holzinhaltsstoffen sowie zwischen den Holzarten (Laub- und Nadelhölzer) und auch innerhalb einer Holzart selbst (Tabelle 30).

Tabelle 30 ■ Fasersättigungsfeuchte gebräuchlicher einheimischer Bauholzarten; aus Praxiskommentar zu DIN 68800, Teile 1 bis 4 [28]

Holztyp/Holzart	Fasersättigungsfeuchte
Nadelholz ohne Farbkern, z. B. Fichte und Tanne	30 bis 34 %
Nadelholz mit Farbkern, z. B. Kiefer und Lärche bei mäßigem Harzgehalt	26 bis 28 %
Splintholz von Nadelhölzern mit Farbkern, z. B. Kiefer und Lärche	30 bis 34 %
Kernholz von Laubhölzern mit ausgeprägtem Farbkern, z. B. Eiche	22 bis 24 %
Splintholz von Laubhölzern mit ausgeprägtem Farbkern, z. B. Eiche	32 bis 36 %
Laubhölzer ohne Farbkern, z. B. Buche	32 bis 36 %

Die Gefahr eines Befalls durch holzzerstörende Pilze ist bei den üblicherweise im Bauwesen eingesetzten einheimischen Holzarten somit erst ab einer Holzfeuchte von circa 30 % gegeben. Bei einem dauerhaft wirksamen Wetterschutz ist eine solche Holzfeuchte nicht zu erwarten. Als Beispiel seien überdachte Holzbrücken benannt, wo als Holzgleichgewichtsfeuchte 15 bis 18 % im eingebauten Zustand erreicht werden.

Die Holzschutznorm DIN 68800 [28] sieht die Pflicht zur grundsätzlichen Anwendung des baulichen Holzschutzes. Niederschlagswasser ist von den Holzbauteilen fernzuhalten oder ein schnelles Ablauen und Abtrocknen sicherzustellen.

Folgende Feuchte- und Wetterschutzmaßnahmen sind an Balkonen einzuhalten:

- horizontale Bauteile sind abzudecken,
- an Abdeckungen sind Überstände und Tropfnasen vorzusehen,
- an vertikalen Fugen zwischen bewitterten Bauteilen sind mindestens 6 mm Abstand einzuhalten,
- Abschrägung und Gefällegebung (mindestens 2 %),
- Durchdringungen sind zu vermeiden; werden Metallabdeckungen horizontaler Flächen von Schrauben durchdrungen, ist zwischen der Abdeckung und dem Holzbauteil eine Abdichtung vorzusehen,
- Metallabdeckungen sind mit einem Abstand zum Holzbauteil anzubringen, damit evtl. Feuchtigkeit abtrocknen kann und Kondensat zu keiner Holzfeuchteerhöhung führt,
- bewittertes Hirnholz ist stets zu schützen,
- Anschlüsse müssen stauwasserfrei ausgeführt werden,
- Kanten von beschichteten Hölzern sind zu runden,
- Rissneigung ist durch entsprechenden Einschnitt und durch Holzauswahl zu minimieren (Risse sind Zugangswege für Feuchtigkeit),
- es sind Spritzwasserschutzmaßnahmen zu treffen.

3.3.2 Biotische Schäden an Pergolahölzern

Situation

An einer Pergola aus Brettschichtholz war es trotz erfolgter Abdeckung der waagerechten Bauteile und einer Beschichtung auf dem Holz zu Braunfäule-schäden gekommen. Die Schäden am Holz traten insbesondere an den Rändern der Blechabdeckung auf (Bild 134 bis Bild 137).



Bild 134 ▪ Pergola mit Blechabdeckung auf den waagerechten Hölzern



Bild 135 ▪ Blechabdeckung an den Quer- und Längshölzern der Pergola



Bild 136 ■ Braunfäuleschaden am Holz vom Blechanschluss ausgehend



Bild 137 ■ Holzzerstörung am Anschluss der Blechabdeckung

Ursache

Problematisch war der Anschluss der Verblechung an die Holzbauteile. Über die Haarfuge zwischen Blech und anschließendem Holzteil war Niederschlagswasser eingedrungen und konnte nicht mehr abtrocknen. Die Folge war Pilzbefall an dem üblicherweise chemisch ungeschützten Brettschichtholz aus Fichte. Auch die Beschichtung konnte eine unzuträgliche Feuchtebeanspruchung nicht verhindern. Trotz Abdeckung ist bei einer Pergola die Einstufung der Hölzer in Gebrauchsklasse 3.1 realistisch, denn es handelt sich um keine geschützte Konstruktion »unter Dach«. Damit müssen die Hölzer aus einer natürlich dauerhaften Holzart bestehen oder entsprechend der Gebrauchsklasse chemisch geschützt sein.

Stellungnahme

Pergolen sind stark witterungsbeanspruchte Konstruktionen. Sie sind formal in Gebrauchsklasse 3.2 einzustufen, weil ohne Schutz eine Wasseranreicherung zu erwarten ist. Mit der erfolgten Blechabdeckung als bauliche Schutzmaßnahme wurde das Ziel verfolgt, das Holzbauteil in eine geringere Gebrauchsklasse einzustufen, um möglichst auf vorbeugende chemische Schutzmaßnahmen verzichten zu können. Das ist aber nur möglich, wenn die Gebrauchsklasse 0 vorliegt (kein Risiko für Bauschäden).

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit einer Konstruktion bestehen nur keine Bedenken, wenn durch geeignete Maßnahmen ein Holzfeuchtegehalt von <20 % auf Dauer sichergestellt wird. Eine nur kurzfristige Erhöhung der Holzfeuchte im Oberflächenbereich wird als unbedenklich angesehen.

Als vorbeugende Maßnahme für Hölzer in Gebrauchsklasse 3.2 sind

- bauliche Schutzmaßnahmen oder
 - der Einsatz von Farbkernholz natürlich dauerhafter Holzarten der Dauerhaftigkeitsklasse 1 oder 2 oder
 - die Anwendung von Holzschutzmitteln beziehungsweise die Verwendung von vorbeugend geschützten Holz- und Holzwerkstoffprodukten mit CE-Kennzeichnung, für die die Verwendung in Gebrauchsklasse 3.2 nachgewiesen ist,
- notwendig.

Im vorliegenden Fall wurde eine in ihrer Widerstandskraft wenig dauerhafte Holzart (Fichte) ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz eingesetzt. Die Verwendung von Fichte als Nadelholz ist für Brettschichtholz jedoch üblich. Die Abdeckbleche erfüllen ihre zugesagte bauliche Schutzfunktion auch nur, wenn die Überstände mindestens 20 mm betragen [49]. Sobald Staufeuchten durch eine unzureichende Anschlussausbildung entstehen, ist die Schutzfunktion des Abdeckblechs aufgehoben. Insofern ist das Erreichen der Gebrauchsklasse 0 an einer Pergola schwierig, da es sich um eine bewitterte Konstruktion handelt.

In der Praxis hat sich für Pergolen gezeigt, dass sich in Gebrauchsklasse 3.2 Farbkernhölzer mit ausreichender natürlicher Dauerhaftigkeit auch ohne Abdeckung bewährt haben. Bei wenig dauerhaftem Fichtenholz kann auf eine schützende Abdeckung als bauliche Holzschutzmaßnahme keinesfalls verzichtet werden. Zugleich ist ein chemischer Schutz notwendig. Die Anschlussausbildung der notwendigen Abdeckung und die Abdeckung selbst müssen zwingend geplant werden. Zugleich muss bei Brettschichtholz in Nutzungs-klasse 3 (NKL 3) die Verklebung für den Einsatzzweck bauaufsichtlich zugelassen sein und die Lamellendicke darf maximal 35 mm betragen.

3.3.3 Undichtigkeiten an einem Sonderbauwerk

Situation

An einem Gradierwerk wurde anstelle eines wattenartig ausgebildeten Ablaufbodens eine Konstruktion mit Durchdringung des Ablaufbodens gewählt (Bild 138 bis Bild 140). Mittels beständiger Dichtmasse, einem elastischen, 1-komponentigen Polyurethan-Dichtstoff, wurde die Fuge im Bereich der Durchdringung verfüllt. Über die Hinnehmbarkeit von bestehenden Undichtigkeiten an den Durchdringungen im Ablaufboden wurde diskutiert.



Bild 138 ■ Stützen und Streben der Tragkonstruktion für die Bedornung durchdringen den Ablaufboden.



Bild 139 ■ Ablaufboden von der Unterseite mit Durchdringung einer Stütze. Die Dichtmasse in der Fuge zwischen Ablaufboden und Stütze ist sichtbar.



Bild 140 ■ Sole tropft an den Durchdringungsstellen im Ablaufboden ab.

Ursache

Gradierwerke sind hölzerne Sonderbauwerke. Eine 100 %ige Dichtheit ist unabhängig von der Konstruktion bei einem Gradierwerk nicht zu erwarten. Gewisse Verluste sind normal und hinzunehmen. Vor- und Nachteile einer Konstruktion müssen vor Errichtung des Bauwerks mit den Baubeteiligten besprochen werden. Die Konstruktion mit einer Wanne ohne Durchdringungen bietet Vorteile gegenüber der Variante mit Durchdringungen.

Gradierwerke erfordern regelmäßige Instandhaltungsintervalle. Es handelt sich um wartungsintensive Holzkonstruktionen. Notwendige Reparaturen erfolgen in der Regel im Rahmen des alle 10 bis 15 Jahre erforderlichen Bedornungswechsels.

Stellungnahme

Gradierwerke entstanden vorwiegend im 18. Jahrhundert als technische Anlagen für die Gewinnung von Siedesalz. Inzwischen sind Gradierwerke ausschließlich Kurmittel und dienen als Freiluftinhalatorium.

Geschichtlich gesehen zählen Gradierwerke mit zu den größten Tragwerken, die im 18. Jahrhundert errichtet wurden. Generelle Problemschwerpunkte bei der Erhaltung von Gradierwerken sind die schwierige bautechnische Auswechselung geschädigter Konstruktionsteile, der hohe handwerkliche Aufwand und die Beschaffung von Schwarzdorn als Verrieselungsfläche.

Gradierwerke sind nicht vollständig dicht. Ein gewisser Soleverlust ist normal und einzukalkulieren. Ein mit einer Nut-Feder-Verbindung hergestellter Ablaufboden ist als üblich und ausreichend dicht anzusehen. Dass die Dichtigkeit

eines Bohlenbelags schon zu früheren Zeiten als Problem betrachtet wurde, ist aus den Veröffentlichungen von Karl Christian Langsdorf ersichtlich. In seiner Publikation »Neue leichtfaßliche Anleitung zur Salzwerkskunde« von 1824 [46] schreibt er, dass das Belegen der Balkenlage mit drei Zoll dicken Fichtenbohlen zu erfolgen hat, die sauber zu hobeln und mit Nut und Feder zu versehen sind und als zusätzliches Dichtungsmittel eine Masse aus einem Teil Unschlitt (Eingeweidefett/Talg) und zwei Teilen Harz in die Nuten einzudrücken ist. Undichtigkeiten waren somit auch in der Vergangenheit ein Thema im Betrieb von Gradierwerken.

Festzustellen ist, dass es für den Gradierwerksbau keine spezielle DIN-Norm gibt. Es dominieren territorial unterschiedliche Erfahrungen, ähnlich der Individualität wie sie aus dem Fachwerkbau bekannt ist. Zugleich ist Literatur zum Gradierwerksbau eher knapp und bezieht sich weniger auf die Konstruktion als auf kulturhistorische Aspekte.

Im Gradierwerksbau sind Wannen aus Beton und aus Holz üblich. Die Tragwerksfelder stehen im Solekasten auf einer Balkenlage und führen zu keiner Durchdringung (Bild 141).



Bild 141 ■ Gradierwerk mit einem Solekasten aus Holz ohne Durchdringung

Einfluss auf die Dichtigkeit hat das Abstellen eines Gradierwerks während der Winterperiode. In dieser Zeit trocknet das während der Sommerperiode durch die Wasserbeaufschlagung permanent durchfeuchtete Holz. Es kommt zum Schwinden und damit entstehen Fugen. Im Bereich der abgedichteten Fuge entsteht eine Beanspruchung an der Dichtmasse. Erst mit der erneuten Befeuchtung in der nachfolgenden Saison schließen sich die durch Holztrocknung entstandenen Fugen wieder allmählich. Insofern haben Gradierwerke, die ganzjährig betrieben werden können, Vorteile.

Gradierwerke, die vollständig aus Holz gebaut sind, haben gegenüber Werken mit einer Wanne aus Beton den Vorteil, dass diese reparaturfähig sind, ohne dass das gesamte Gradierwerk bei einer Instandsetzungsmaßnahme abgebaut werden muss. Bei Auswechselung einer Betonwanne bedarf es in der Regel des Abbaus des kompletten Gradierwerks.

Lärche ist das traditionell eingesetzte Holz bei chemischen Belastungen. Es ist für Gradierwerke sehr gut geeignet. Auch Douglasie ist mit gewissen Abstrichen bezüglich der Dauerhaftigkeit möglich.

Durch die Sole entwickelt das Holz über die vielen Jahre eine steinartige Härte. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass sich Hölzer, die jahrzehntelang mit Sole beaufschlagt wurden, nur schwer sägen lassen. Ungünstig ist, dass die Salzbelastung mit der Zeit zur Holzzerfaserung (Mazeration) führt, die dann im fortgeschrittenem Stadium eine Bauteilerneuerung erforderlich werden lässt. Man kann hier einen Zeitraum von circa 60 Jahren als ungefähre Standzeit ansetzen.

3.3.4 Gefährdete Bauteilanschlüsse an Laubengängen

Situation

An einem Seniorenwohnsitz wurden umlaufende Holzbalkone als Laubengänge im Ober- und Dachgeschoss angeordnet. Es handelte sich bei den Trägern um Konstruktionsvollholz (KVH) und bei den Stützen um Brettschichtholz (BSH). Die Hölzer waren chemisch geschützt.

Als Belag für die Balkone wurden Holzbohlen als Riffelbohlen verwendet, die auf zwei Längsträgern und an Querträgern an den Stützen auflagen. An jeder Stütze waren Knotenpunkte vorhanden. Die Träger waren nicht abgedeckt und direkt an die Stützen ohne Fugenabstand angeschlossen. An den Trägern zeichneten sich auch deutliche Feuchteablaufspuren vom Belag ab (Bild 142).

Im Bereich der Gebäudeecke wurden für die Befestigung der Träger an den Stützen Stabdübel mit innen liegenden Blechen als Verbindungsmittel verwendet. Die Stabdübellöcher waren sichtbar, das Holz war stark gerissen. Einige Träger wiesen Braunfäule durch holzzerstörende Pilze auf (Bild 143 bis Bild 145).



Bild 142 ■ Ablaufspuren am Träger zwischen den Belagsfugen



Bild 143 ■ Sichtbare Stabdübel und Rissbildung im Holz; an der Unterseite ist es bereits zur Pilzschädigung gekommen.



Bild 144 ■ Fehlende Abdeckung am Träger mit Braunfäule im Anschluss an die Stütze



Bild 145 ■ Braunfaule Holzsubstanz an der Stütze unterhalb der Anschlussfuge

Ursache

An der ungeschützten Konstruktion fehlt ein Fugenabstand von 6 mm zwischen den Holzbauteilen. Nach den Fachregeln des Zimmererhandwerks [49] sind vertikale Fugen bei bewitterten, abgedeckten und auch nicht abgedeckten Bauteilen mit einem Abstand von mindestens 6 mm auszubilden.

Stellungnahme

Bei der Laubengangkonstruktion handelte es sich um eine ungünstige offene Ausführung. Diese Konstruktion ist gegenüber einer geschlossenen Konstruktion mit einer geschlossenen wasserabweisenden Schicht deutlich nachteilig.

Waagerechte Bauteile sind stark witterungsbeansprucht. Sie sind nach den Regeln des baulichen Holzschutzes abzudecken. DIN 68800-2 [25] formuliert: »*Niederschläge sind vom Holz und den Anschlussbereichen durch einen dauerhaft wirksamen Wetterschutz fernzuhalten oder sie sind so schnell abzuleiten, dass keine unzuträgliche Veränderung des Feuchtegehaltes eintritt. Bei Anschläßen und Stößen ist darauf zu achten, dass auch im Bereich der Verbindungsmitte eine Anreicherung von Wasser im Holz ausgeschlossen ist.*«

Die äußeren Träger erfuhren eine starke Beanspruchung durch Niederschlag. Im Obergeschoß stärker als im Dachgeschoß, wo der Dachüberstand schützend wirkt. Besonders ungünstig waren die Bauteile an den Gebäudeecken. Sie waren stark gerissen und durch die sichtbaren Stabdübel bestanden auch unzuträgliche Eintrittspforten für Feuchtigkeit in das Holz.

Alle äußeren waagerechten Bauteile der offenen Konstruktion sollten mit einer Abdeckung versehen werden, sofern die Konstruktion nicht in der Gesamt-

heit erneuert wird. Trotz Abdeckung wird die verbleibende Haarfuge einen Schwachpunkt darstellen. Als Abdeckung und wasserableitende Schicht sind nach den Fachregeln des Zimmererhandwerks UV-beständige Abdichtungsbahnen oder Blechabdeckungen zu verwenden [49]. Bitumen- oder Kunststoffbahnen sollten an jeder Seite mindestens 20 mm breiter sein als das abgedeckte Bauteil und bei Abdeckblechen sollten die Überstände ebenfalls 20 mm betragen. Wegen des Risikos von eindringendem Wasser sollten Befestigungsmittel die Metallabdeckung der horizontalen Fläche möglichst nicht durchdringen. Andernfalls sind geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen (Abdichtungsbahn, alternativ Dichtschrauben, Hauerbuckel).

Die bereits von holzzerstörenden Pilzen biotisch geschädigten und braunfaulen Bauteile waren auszubauen und zu erneuern. Ein Fugenabstand von 6 mm ist zu garantieren. Das kann zum Beispiel durch geeignete Stahlbauteile oder Kunststoffbauteile erfolgen.

Außenbauteile, die der Witterung ausgesetzt sind, bedürfen der regelmäßigen Pflege. Der Abschluss eines Wartungs- und Inspektionsvertrags wird empfohlen. Die Pflegeintervalle richten sich nach den örtlichen Gegebenheiten, zum Beispiel der Himmelsrichtung, der Verschattung oder des Bewuchses. Um Feuchtenester zu vermeiden, sind Fugen an Belägen, der Konstruktion sowie den Verbindungen regelmäßig von Schmutz und Laub zu befreien.

3.3.5 Schäden an einer Balkonbrüstung durch Haarfugen

Situation

An einer vor neun Jahren erneuerten Brüstung aus Kiefernholz am Balkon eines Gründerzeithauses hatten sich die Füllungen gelockert. Es wurden Pilzfruchtkörper und eine durch Fäulnis zerstörte Holzsubstanz festgestellt (Bild 146 und Bild 147).

Die Brüstung war historisch nachempfunden. Sie umfasste eine geschlossene Holzbrüstung aus Einzelfüllungen und Brüstungsstielen. Der Balkon war nicht überdacht und direkt der Witterung ausgesetzt. Nur der Handlauf war verblecht.



Bild 146 ▪ Balkonbrüstung mit gelockerter und nach unten abgerutschter Füllung



Bild 147 ▪ Pilzfruchtkörper des Großporigen Feuerschwamms und durch den Pilz biotisch abgebauten Holzsubstanz am Brüstungsstiel und den Füllungen

Ursache

Die Ursache für die Pilzschäden waren Haarfugen, welche die eingedrungene Feuchtigkeit nur schwer austrocknen ließ. Infolge des Holzabbaus durch den Pilz hatten sich die Füllungen gelockert. Eine unterlassene jährliche Inspektion sowie fehlende Renovierungsintervalle hatten den Pilzbefall begünstigt.

Gerade bei historischen Brüstungskonstruktionen mit Füllungen ist ein erhöhter Inspektions- und Pflegeaufwand notwendig.

Stellungnahme

Als Hauptschaderreger wurde der Großporige Feuerschwamm (*Phellinus contiguus*) bestimmt. Er gehört zu den Nassfäulepilzen. Phellinus-Arten benötigen für ihre Entstehung hohe Holzfeuchten (>30 %) und verursachen am Holz eine Weißfäule. Weißfaules Holz wird faserig, weich und im Verlauf des Abbauprozesses heller.

Der Großporige Feuerschwamm kommt an im Freien verbautem Holz sowie an Schindeldächern, Fachwerk und weiteren Holzbauteilen vor. Es werden alle Bauhölzer befallen, denn der Pilz ist nicht an bestimmte Holzarten gebunden. Das Oberflächenmyzel des Großporigen Feuerschwamms beschränkt sich meist auf Spalten und Ritzen. Die Zerstörungskraft des Pilzes wird im Kiefern-Splintholz mit 31 % bei 20°C in drei Monaten angegeben [21].

Zusätzlich zum Weißfäulepilz wurden auch Moderfäulepilze festgestellt. Moderfäulepilze gehören zur Abteilung der Ascomycota. Sie treten an nass lagerndem, verunreinigtem Holz aller Art auf. Durch den Abbau der Cellulose oder Hemicellulose entstehen braunfäuleartige Holzschädigungen.

Moderfäule ist ein eigenständiger Fäuletyp. Das Charakteristikum der Moderfäulepilze ist, dass sie in der Holzzellwand wachsen und dort kavernenförmige Löcher perl schnurartig hintereinander hervorrufen. Der Begriff Moderfäule leitet sich von der weichen und feucht-schmierigen Oberfläche des angegriffenen Holzes ab.

Der Balkon ist gemäß DIN 68800-1 [4] in die Gebrauchsklasse 3.1 und 3.2 je nach Bauteil einzustufen (Tabelle 25).

Kiefernholz gehört zu den Holzarten, die wenig dauerhaft sind (Dauerhaftigkeitsklasse des Farbkernholzes 3 bis 4). Das helle Splintholz ist generell nicht dauerhaft (Dauerhaftigkeitsklasse 5). Insofern benötigt Kiefernholz, das ungeschützt der Bewitterung ausgesetzt ist, einen vorbeugenden chemischen Holzschutz. Alternativ ist der Einsatz natürlich dauerhafter Holzarten der Dauerhaftigkeitsklasse 1 und 2 möglich (z.B. Kernholz der einheimischen Stiel- oder Traubeneiche).

Im vorliegenden Fall war unbekannt, ob die Hölzer vorbeugend chemisch geschützt wurden. Erfahrungsgemäß kann bei Tischlerware in der vorliegenden Gebrauchsklasse kein ausreichender chemischer Schutz erwartet werden, weder durch Verwendung von Holzschutzmitteln, unabhängig vom Einbringverfahren, noch durch Verwendung vorbeugend geschützter Holzprodukte.

Unabhängig von der Qualität eines chemischen Holzschutzes bestanden bauliche Schwachpunkte an der Brüstung. Füllungen gelten holzschutztechnisch im Außenbereich als schwierig. An gründerzeitlichen Häusern werden sie jedoch häufig aus denkmalpflegerischer Sicht gefordert. Schadenschwerpunkt sind die Haarfugen. Im Bereich der Füllungen und am Anschluss an die Stiele kann an diesen Fugen Niederschlagswasser eindringen und nur schwer wieder austrocknen. Die Folge ist eine langanhaltende unzuträgliche Holzfeuchte ab etwa Fasersättigung, die zum pilzlichen Abbau des Holzes führt.

Die vorhandene Beschichtung konnte nur einen ergänzenden Beitrag zum Schutz des Holzes leisten, indem sie eine Wasseraufnahme des Holzes über die Holzoberfläche behinderte. Der Schutz des Holzes muss jedoch durch andere Maßnahmen nach DIN 68800-2 (baulicher Holzschutz) und DIN 68800-3 (chemischer Holzschutz) sichergestellt sein.

Der Pilzschaden bestand schon längere Zeit. Es wäre möglich gewesen, den Schaden durch einen Holzfachmann im Rahmen einer jährlichen Inspektion bereits in den Anfängen zu detektieren. Der inzwischen eingetretene Schadenumfang erforderte die vollständige Erneuerung der Balkonbrüstung.

Bei der Erneuerung der Balkonbrüstung gemäß Originalzustand werden sich Haarfugen kaum vermeiden lassen. Es ist daher notwendig, durch Verwendung von mit Holzschutzmittel behandeltem Holz in GK 3.2 oder durch den Einsatz natürlich dauerhafter Holzarten in Dauerhaftigkeitsklasse 1 und 2 den Schutzerfolg für den frei bewitterten Balkon sicherzustellen.

3.3.6 Schadenschwerpunkt Balkenkopf

Situation

Infolge des statisch bedingten Abbruchs einer Bruchsteinaußenwand wurden die Balkenköpfe der Holzbalkendecken vollständig freigelegt und dadurch allseitig sichtbar. Die Außenwandstärke des Mauerwerks betrug 60 cm mit einer Auflagertiefe der Balkenköpfe von bis zu 50 cm. Vom Hirnholz der Balken ausgehend waren Pilz- und Insektenfraßschäden erkennbar (Bild 148 und Bild 149).



Bild 148 ■ Pilz- und Insektenbeschädigungen am freigelegten Balkenkopf



Bild 149 ■ Schädigung vom Hirnholz ausgehend bis ungefähr zur Aussparung für die Balkenschwelle

Ursache

Die Ursachen für biotische Schäden an den Balkenköpfen können vielfältig sein. Es handelt sich stets um eine zu hohe Holzfeuchte. Eine Hauptursache war die bestehende Schlagregenbelastung. Das Balkenauflager der 60 cm dicken Außenwand war nicht ausreichend dimensioniert. Es fehlte eine ausreichend schlagregendichte Vormauerung. Bei der großen Auflagertiefe von bis zu 50 cm waren die Balkenköpfe infolge einer Durchfeuchtung von außen stark gefährdet.

Stellungnahme

Grundsätzlich sind die Balkenköpfe vor Pilzbefall geschützt, wenn die Holzfeuchte 20 % nicht dauerhaft übersteigt. Auch die als Schadorganismen in Betracht kommenden Holzinsekten aus der Familie der Nagekäfer bevorzugen Holzfeuchten über 20 % als Lebensraum.

DIN 68800-2 [25] stuft Balkenköpfe nur in die Gebrauchsklasse GK 0 ein, wenn keine unzuträgliche Tauwasserbildung auftritt. Kann eine Feuchtebelastung an Balkenköpfen nicht ausgeschlossen werden, dann besteht Gebrauchsklasse GK 2 (Gefährdung durch Pilze und Insekten).

Ursachen für Pilzschäden an Balkenköpfen können auch eine Luftverbindung mit dem Innenklima sein, wenn im Winter Raumluftströmungen konvektiv hohe Feuchtebelastungen am kühlen Balkenkopf hervorrufen. Weitere Ursachen sind dampfdichte Ummantelungen an den Balkenköpfen, eine hygro-skopische Wirkung von Salzen im Mauerwerk, eine Wärmebrückenwirkung von Mauerankern oder auch unzuträgliche Feuchtebeanspruchungen infolge von Havarien (Leitungswasserschaden).

Wird bei einer Balkenkopfinstandsetzung der Balkenkopf freigelegt, dann sollten Wärmedämmsschichten in die Auflagertasche eingebracht werden. Am Balkenkopf und besonders am Hirnholz sollte kein Kontakt zum Mörtel bestehen. Die Außenwand muss schlagregendicht sein. Um konvektive Ströme von warmer Raumluft in das Balkenaufbauer zu vermeiden, sind die Balkenköpfe auf der Raumseite konvektionshemmend anzuschließen. Das gilt auch bei Innendämmungen mit diffusionsoffenen kapillarwirksamen Materialien [54]. Der luftumspülte Balkenkopf ist somit nur für unbeheizte Gebäudebereiche sinnvoll.

Die Anordnung einer Trennlage zwischen Mauerwerk und Unterseite vom Balkenkopf ist nur erforderlich, wenn eine Durchfeuchtung des Mauerwerks zu erwarten ist. Andernfalls ist keine Trennlage notwendig. Ein allseitiges Umhüllen des Balkenkopfs mit Abdichtungsbahnen o. Ä. ist grundsätzlich zu unterlassen.

3.3.7 Sekundäre Besiedlung an Holzsäulen

Situation

An verbauten Rundholzsäulen eines überdachten Picknickareals wurde ein erheblicher Auswurf von Bohrmehl festgestellt. Das Bohrmehl wurde aus vorhandenen ovalen Insektenausfluglöchern, die an der Holzoberfläche vorhanden waren, ausgeworfen (Bild 150). Zugleich wurde eine Vielzahl von Wespen am Holz beobachtet. Es bestand der Verdacht eines Lebendbefalls durch ein holzzerstörendes Insekt.



Bild 150 ■ Ausgeworfenes helles Bohrmehl an der Holzoberfläche einer Säule



Bild 151 ■ Grabwespe am Ausflugloch. Das zumeist klumpige Bohrmehl wird aus den Gängen herausgeworfen.

Ursache

Ursache für das ausgeworfene Bohrmehl waren Grabwespen der Art *Psenulus pallipes* als sogenannte Sekundärbesiedler (Bild 151). Die Wespen sind nicht holzzerstörend. Die Arten der Gattung *Psenulus* nisten gern in kleinen Höhlen von trockenen Pflanzenstengeln und ähnlichen kleinen Hohlräumen, während die vorgefundene Art *Psenulus pallipes* alte Gänge von Holzschädlingen in Totholz bevorzugt. Sie benutzt hierfür die Fraßgänge von Bockkäfer- und Anobienlarven.

Weil die Wespen eigenen Kot und auch Feuchtigkeit produzieren, ist das Bohrmehl, das aus Nagsel und Larvenkot besteht und von den Grabwespen aus den Gängen herausbefördert wird, zumeist verklumpt.

Stellungnahme

Es sind weltweit 121 Arten der Gattung *Psenulus* bekannt. In Europa treten zehn Arten auf.

Die Grabwespen sind harmlos und keine Holzzerstörer. Sie nutzen als Folger lediglich die verlassenen Gänge aus einem vorausgegangenen Schädlingsbefall. Grabwespen und andere Schädlinge beeinflussen sich nicht gegenseitig. Dennoch können Grabwespen auch bei einem noch aktiven Befall durch Holzschädlinge im Holzbauteil vorhanden sein. Insofern ist eine gründliche Untersuchung und Abklärung der Situation notwendig.

Grabwespen versorgen ihre Larven mit erbeuteten und von ihnen gelähmten Insekten. Sie fressen kein Holz. Bedingt durch ihre recht kräftigen Mundwerkzeuge können aus dem Gang ausschlüpfende Tiere auch Papier durchnagen.

Zur Diagnose von im Holz lebenden Insekten eignet sich die Methode der Papierabklebung. Bei der Papierabklebung wird auf der befallsverdächtigen Holzoberfläche Packpapier oder ähnliches mittels Tyloseleim aufgeklebt. Die im Holz befindlichen Tiere durchdringen dann beim Ausflug aus dem Holz während der warmen Jahreszeit das Papier und werden so detektiert (Bild 152). Sie hinterlassen im Papier ein charakteristisches Ausflugloch. Damit ist eine eindeutige Befallsdiagnose möglich.



Bild 152 ■ Papierabklebungen als Monitoringmethode:
Bei einem aktiven Befall hinterlassen die im Holz lebenden und in der Sommerperiode ausfliegenden Insekten im Papier ein charakteristisches Ausflugloch.

Die Grabwespen erforderten keine Bekämpfung, weil sie keine Holzschädlinge sind. Um sie zurückzudrängen, empfiehlt es sich, die Ausfluglöcher mit Holzpaste zu verschließen. Sind zusätzlich zur Wespe noch Holzzerstörer im Holz, wie beispielsweise der Hausbockkäfer, dann sind bekämpfende Maßnahmen notwendig. Hier eignet sich zumeist das biozidfreie Heißluftverfahren (Bild 153). Das befallene Holz ist dabei auf eine Mindesttemperatur 55 °C aufzuheizen und die Temperatur für die Dauer von mindestens einer Stunde an der wärmetechnisch ungünstigsten Stelle zu halten. Durch die Eiweißgerinnung werden die verschiedenen Entwicklungsstadien der Insekten bei der Heißluftbehandlung abgetötet.



Bild 153 ■ Mehrere Heizeräte mit geschlossenen Schläuchen zur großflächigen Heißluftbehandlung eines gesamten Gebäudes

3.3.8 Verformungen und Risse am Fachwerk

Situation

Im Rahmen der Instandsetzung eines historischen Fachwerkhauses wurden Risse im Holz und Verformungen festgestellt. Es bestand die Fragestellung, ob bauliche Maßnahmen im Rahmen der Sanierung zu ergreifen wären.

Ursache

Nahezu an jeder historischen Fachwerkkonstruktion treten durch die materialbedingte Weichheit der Gesamtkonstruktion Verformungen und damit einhergehende Lastumlagerungen auf.

Das Vorhandensein von Schwindrissen ist in historischen Hölzern als üblich anzusehen und kann im Allgemeinen akzeptiert werden. Schwindrisse vermindern in üblicher Größenordnung die Tragfähigkeit nur gering.

Stellungnahme

Verformungen erreichen bei historischen Häusern oft ein beachtenswertes Ausmaß (Bild 154 und Bild 155). Im Vergleich mit Stahl oder Beton hat Holz einen niedrigen Elastizitätsmodul. Damit sind bei biegebeanspruchten Bau Teilen zumeist die Verformungen maßgebend.

Mögliche Arten der Verformung sind:

- Verdrehungen,
- elastische Durchbiegungen unmittelbar nach Aufbringen der Last,
- Durchbiegungen infolge von Kriechen als Langzeitbelastung.

Dabei liegen bei historischen Hölzern, wie beispielsweise Deckenbalken und Unterzügen, die Kriechverformungen meist über den elastischen Verformungen. Es ist zu beachten, dass Kriechverformungen irreversibel, das heißt nicht rückverformbar sind.



Bild 154 ■ In Nutzung:
Die schief stehenden
historischen Holz-
konstruktionen in
York (GB) dienten
als Kulisse für die
»Winkelgasse« in der
Harry-Potter-Verfilmung.



Bild 155 ■ Beachten-
werte Verformungen
langzeitbelasteter Fach-
werkholzer, ohne dass
Bruch auftritt

Grenzwerte von zulässigen beziehungsweise unbedenklichen Risstiefen ohne erforderliche Nachweise werden bei Erler [62] benannt (Bild 156). Werden diese Risstiefen überschritten, ist eine Beurteilung der konkreten Situation durch einen Fachmann erforderlich. Ein besonderes Augenmerk ist Rissen im Bereich von Verbindungsmittern und Holzschwächen zu widmen, weil von hier zumeist die größeren Risiken ausgehen (Aufspalten).

Es ist darauf hinzuweisen, dass die im Fachwerkbau besonders gefährdete Grundschielle, die bei Erneuerungen vorzugsweise in Eichenkernholz ausgeführt werden sollte, im Hinblick auf Schwindrisse mit dem Mark nach oben zu verlegen ist, wodurch die sich bildenden Schwindrisse nach unten weisen. Dadurch wird die Gefahr des Eindringens von unzuträglicher Feuchte in den Rissbereich etwas reduziert, was eine bauliche Holzschutzmaßnahme im Umgang mit Schwindrissen darstellt.

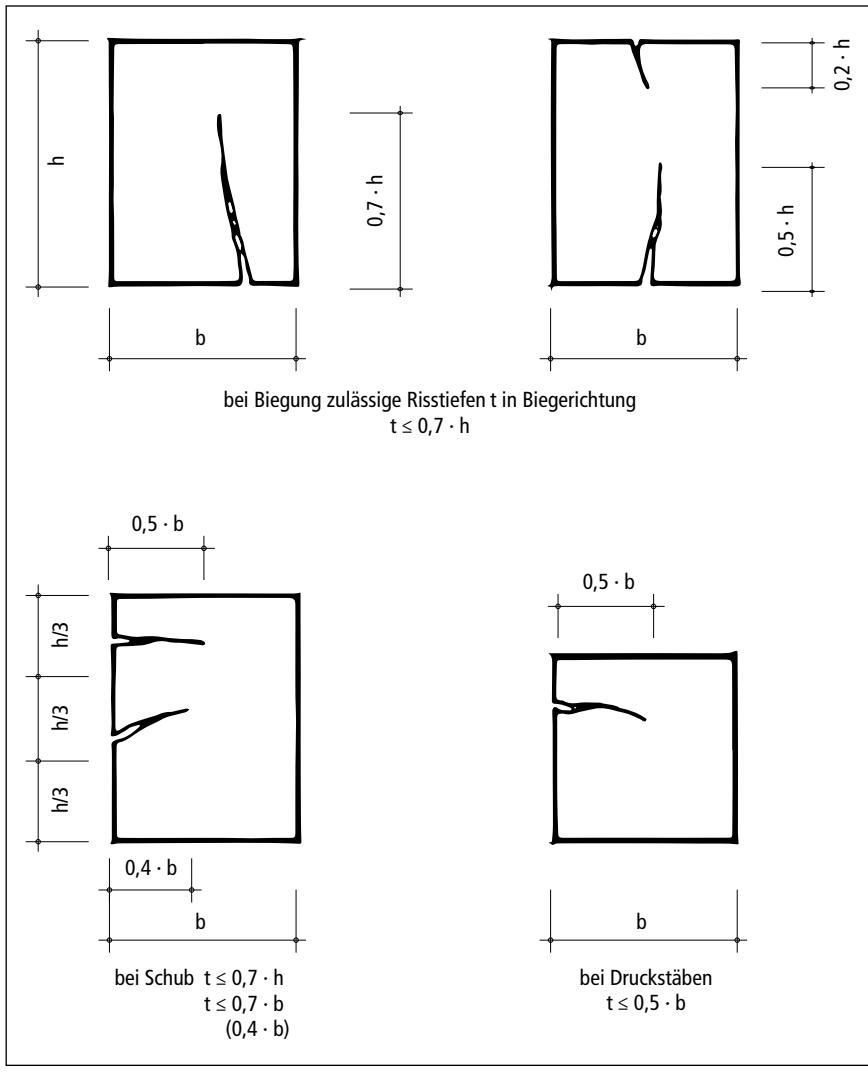


Bild 156 ■ Vorschlag für unbedenkliche Risstiefen, differenziert nach den Hauptbeanspruchungen des Bauteils (Biegung, Schub, Knicken), ([62], S. 88)

Ist eine Beschichtung des Holzes geplant, werden offene, nicht ausgespänte kleinere Risse mit einem langborstigen Pinsel ausgestrichen. Dabei soll der s_d -Wert des Anstrichsystems auf Fachwerkholzern den Wert von 0,5 m nicht überschreiten, um sicherzustellen, dass eingedrungenes Wasser weitgehend ungehindert abdampfen kann.

Größere Risse am Fachwerkholz sind möglichst durch Ausspänen zu verschließen. Auf Spachtelmassen zur Rissverfüllung ist zu verzichten, weil sie die Wasserdampfdurchlässigkeit verringern und das Holz dann darunter faulen kann.

3.4 Fenster und Fassaden

3.4.1 Schäden an Holzfenstern

Situation

An den Fensterkonstruktionen eines Neubaus wurden unterhalb der Wetterschutzschiene und im Bereich der Brüstungsfugen Holzschäden festgestellt. Die Schadenbereiche zeigten eine wellige Struktur und teilweise Rissbildungen in der deckenden Beschichtung der Bauteile (Bild 157 und Bild 158).



Bild 157 ▪ Zerstörte Holzsubstanz unterhalb der Endkappe der Wetterschutzschiene

Ursache

Die Ursache für die Schäden an den Holzfenstern war die fehlende Abdichtung an den Endkappen der Wetterschutzschiene und der unzureichende V-Fugeschutz zur Verhinderung der Wasseraufnahme an den Hirnholzflächen.



Bild 158 ■ Von der V-Fuge ausgehende Holzzerstörung

Stellungnahme

Holzfenster sind heute fast immer mit Wetterschutzschienen ausgestattet. Die Wetterschutzschiene dient der Falzentwässerung von Holzfenstern. Es soll verhindert werden, dass Feuchte im Bereich der Wetterschutzschiene kapillar in die Konstruktion eindringen kann.

Je nach Ausführungsart können Wetterschutzschienen geklemmt, verschraubt oder mit Klipsen befestigt werden. Auch gibt es am Markt Wetterschutzschienen mit angeformter Blendrahmenabdeckung. Diese Bauart schützt die Ablaufschräge des Blendrahmens vor direkter Bewitterung und vor ablaufendem Wasser aus den Entwässerungsöffnungen der Wetterschutzschiene. Dabei soll der Abstand zwischen Holzoberfläche und Blendrahmenabdeckung ≥ 3 mm betragen, um eine Luftpumspülung zu ermöglichen.

Werden Endkappen an der Wetterschutzschiene verwendet, ist der Anschluss an das umgebende Holz abzudichten. Zugleich ist zu beachten, dass Endkappen auch bei ausreichender UV-Beständigkeit mit der Zeit verspröden und erneuert werden müssen. Häufig wird auch der kappenfreie Anschluss ohne Endkappen empfohlen [55].

Die Eckverbindungen gehören zu den schadenanfälligen Stellen am Fenster. In der Rahmeneckverbindung, der sogenannten V-Fuge, ist das Hirnholz besonders feuchtegefährdet. Temperatur- und Feuchtebelastungen wirken auf die Eckverbindung ein. Besonders an offenen Eckverbindungen, die durch eine nicht fachgerechte Verleimung sowie infolge von Beschädigungen entstehen, kann unzuträgliche Feuchte in das Holz eindringen und Schäden am Fenster verursachen. Ist der Kraftschluss der Holzverbindung aufgehoben, lassen sich die miteinander verbundenen Profile bewegen (Bild 159) [56]. Die Folge sind Eintrittsstellen für Feuchtigkeit.

Deshalb sollte der sensible Bereich der Eckverbindung mit einem Fugensiegel als Hirnholzschutz behandelt werden (Bild 160). Ein Anstrich allein ist nicht ausreichend. Das aufgebrachte Fugensiegel kann nach kurzer Zeit überstrichen werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass eine Versiegelung allein nicht geeignet ist, um Bewegungen aufgrund von aufgerissenen Verklebungen in der Holzverbindung aufzunehmen [39].



Bild 159 ■ Eckverbindung als Dübelverbindung (Holzart Eukalyptus)



Bild 160 ■ Mit Fugensiegel verschlossene Eckverbindung im Rahmen der Fensterherstellung

3.4.2 Schäden an Holzwerkstoffplatten im Fassadenbereich

Situation

Für Teilbereiche einer Fassade wurden als gestalterisches Merkmal Sperrholzplatten ausgewählt und vor Ort handwerklich mit einer deckenden Beschichtung versehen. Bei den Platten handelte es sich um wetterfest verleimtes Birkensperrholz. Nach vier Jahren Standzeit wurden beginnende Aufwölbungen im Deckfurnier und eine Vielzahl kleiner Risse an der Plattenoberfläche festgestellt (Bild 161 und Bild 162). An den Plattenkanten waren Rissbildungen entstanden und es war stellenweise zur Ablösung des Deckfurniers gekommen (Bild 163 und Bild 164).



Bild 161 ▪ Beginnende Ablösung des Deckfurniers vom Einlegestück ausgehend

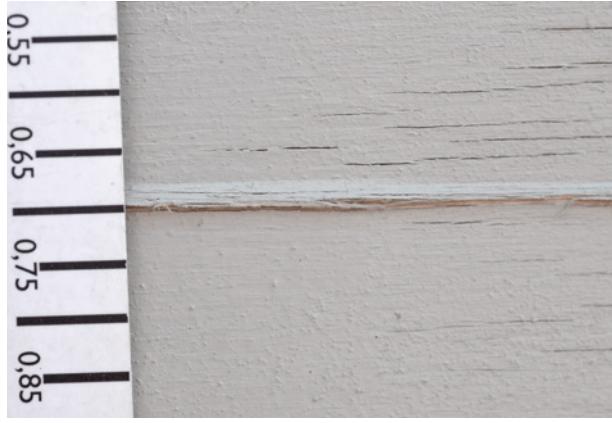


Bild 162 ▪ Furnieraufwölbung im Rissbereich

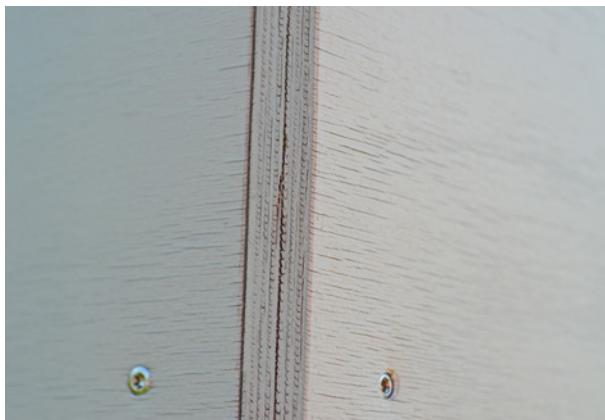


Bild 163 ■ Rissbildung und sichtbare Furnierlagen an der Plattenkante



Bild 164 ■ Ablösung des Deckfurniers von der Plattenkante ausgehend

Ursache

Die Ursachen für die Rissbildungen und Ablösungen waren beschichtungs-technisch, herstellungstechnologisch und baulich bedingt.

Im vorliegenden Fall war die Plattenkante unzureichend vor Feuchteeinwirkung geschützt. Zugleich bestanden Schälrisse an den Platten, die sich bei direkter Bewitterung in der Beschichtung abzeichneten und so Eintrittspforten für Feuchtigkeit boten. Besonders in der oberen Furnierlage hatten sich durch Quell- und Schwinderscheinungen die Risse vergrößert und führten bis in die Beschichtung hinein (Bild 165).

Zugleich waren an den Gebäudeecken die Platten nicht auf Gehrung geschnitten, sodass die Plattenkante direkt der Bewitterung ausgesetzt war.

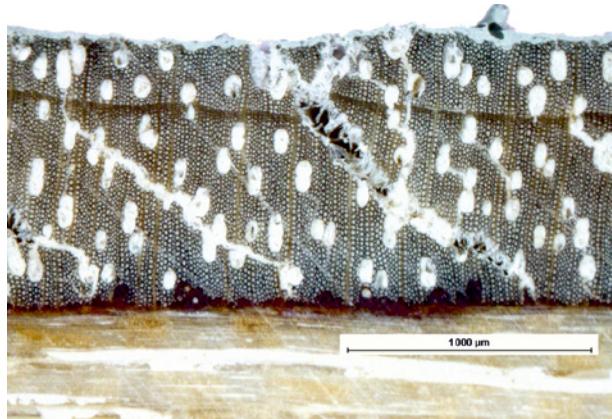


Bild 165 ■ Schräger verlaufender Schärliss im Deckfurnier der Sperrholzplatte (Foto: Björn Weiß, Dresden)

Stellungnahme

Sperrholz ist in DIN EN 636 [30] geregelt und muss bei der Außenverwendung für einen Einsatz in Nutzungsklasse 3 nach DIN EN 1995-1-1/NA [8] nachweislich geeignet sein. Grundsätzlich sollten nur geeignete und von Herstellern ausdrücklich für den Einsatz als Fassadenplatte empfohlene Platten zur Anwendung kommen.

In permanenten Außenkonstruktionen muss das Sperrholz sachgerecht beschichtet, kantenversiegelt, montiert und instand gehalten werden, um ungünstigen Witterungseinflüssen widerstehen zu können.

Die Schärlisse in den einzelnen Furnierlagen des Sperrholzes sind technologisch bedingt und entstehen üblicherweise im Rahmen der Fertigung von Schälfurnier. Zugleich können Risse im Furnier auch durch hohe Oberflächentemperaturen an der Fassade entstehen.

Beschichtungen leisten einen zusätzlichen Beitrag zum Schutz des Holzes, indem sie eine Wasseraufnahme des Holzes über die Holzoberfläche behindern. Die maximale Lebensdauer einer Beschichtung auf Holzteilen wird im Zusammenspiel einer optimalen Qualität des Holzes, der einwandfreien Konstruktion und der geeigneten Beschichtung erreicht.

Bei Schärlissen im Beschichtungsuntergrund gelangt der Beschichtungsstoff schnell an seine Grenzen. Bei offenen Rissen kann er seine Feuchteschutzfunktion nicht mehr ausreichend erfüllen. Auch können Risse in der Holzoberfläche durch Beschichtungen nicht dauerhaft überbrückt werden.

Bei der Planung einer Konstruktion sollten deshalb bereits zukünftige Renovierungsintervalle und die damit verbundenen Aufwendungen Berücksichtigung finden.

Bei Holzwerkstoffen, die eine Oberflächenbeschichtung erhalten, ist generell eine Versiegelung der Kanten erforderlich (auch bei unbehandelten Platten). Zugleich muss zur Erzielung einer ausreichenden Schichtdicke die Kante mit einem Radius von ≥ 2 mm gerundet werden. Fugenbreiten, die kleiner als die Plattendicken sind, sollten vermieden werden, da sie die Wartung und Erneuerung der Beschichtung an der Plattenkante erschweren.

Die untere horizontale Plattenkante ist, wenn sie nur mit einer Beschichtung geschützt ist, mit 15 bis 30° Neigung zu hinterschneiden, um eine schnelle und stauwasserfreie Niederschlagsableitung zu ermöglichen. Das Wasser muss so schnell wie möglich abgeleitet werden und darf nicht in die Platte eindringen. Bleiben die Kanten rechtwinklig gesägt, so kann an diesen Stellen Wasser eindringen. Die Folge davon ist, dass das Deckfurnier infolge von Quell- und Schwindbewegungen reißt.

Im Prinzip ist die biologische Beständigkeit von Sperrholz so gut, wie die Holzart aus der die Platte gefertigt ist. Auch wenn Sperrholz witterfest für die Außenanwendung verleimt ist, ist die Wetterbeständigkeit von unbeschichtetem Sperrholz mit unversiegelten Kanten unter feuchten Bedingungen begrenzt.

Entsprechend der Klassifizierung nach DIN EN 350 [10] ist die Holzart Gemeine Birke (*Betula pubescens* und *Betula pendula*) gegenüber dem Befall durch holzzerstörende Pilze der Dauerhaftigkeitsklasse DC 5 zuzuordnen. In dem 5-stufigen System bedeutet DC 5 »nicht dauerhaft« (siehe Tabelle 4 in Kapitel 2.3.1).

Prinzipiell stellt eine lückenlose Beschichtung von Holz eine physikalische Barriere dar, die den Angriff Holz abbauender Organismen einschränkt oder gar verhindert. Bei ausreichender Schichtdicke und einwandfreier Ausführung können Holzarten trotz unzureichender natürlicher Dauerhaftigkeit auch ohne Holzschutzmittelbehandlung eingesetzt werden. Kann die gleichbleibende Qualität der Beschichtung nicht gewährleistet werden, gilt in der Praxis eine Schutzbehandlung mit Holzschutzmittel üblicherweise als empfehlenswert.

In den skandinavischen Ländern wird zumeist auf eine vorbeugende chemische Behandlung von beschichteten Holz verzichtet, denn eine routinemäßige Pflege und Inspektion der Beschichtung gilt als obligatorisch. Eine im Laufe der Zeit eintretende Beschädigung der deckenden Schicht ist unter entsprechenden Pflege- und Wartungsbedingungen dann unwahrscheinlich, weil kein feuchtebedingter Nährboden für Pilzbefall besteht.

Sperrholz wird allgemein durch DIN EN 313-1 [31] klassifiziert und in DIN EN 636 [30] werden Anforderungen an Sperrholz für allgemeine und

tragende Zwecke bei Verwendung in Trocken-, Feucht- und Außenbereich festgelegt:

- Klasse 1: Anwendung im Innenbereich,
- Klasse 2: Anwendung im Feuchtbereich,
- Klasse 3: Anwendung im Außenbereich.

Die Beanspruchungsklassen 1 bis 3 nach DIN EN 636 [30] bestimmen den Anwendungsbereich, wo das Sperrholz verwendet werden darf. Auch die Verleimung wird in die drei Klassen (Trocken-, Feucht- und Außenbereich) nach DIN EN 314-2 unterteilt [32]. Dabei ist hinzuweisen, dass auch bei Verleimung in Klasse 3 (Außenbereich) das Sperrholz nicht zwangsläufig für den Außenbereich zugelassen ist, denn die Aussage ist nur auf die Verleimung bezogen.

Die Norm macht damit die Eignung einer Sperrholzplatte für die Außenanwendung im Wesentlichen an der wetterbeständigen Verleimung und an der Qualität der Beschichtung in der Fläche und vor allem an den Kanten fest.

3.4.3 Lasurschäden an einer Fassade aus Fichtenholz

Situation

Eine Holzfassade aus Fichtenholzbrettern wurde mit einer lösemittelbasierten Lasur, bestehend aus einer Dünnschichtlasur und einer filmbildenden mittelschichtigen Lasur, in einem dunklen Farbton beschichtet. Es erfolgten drei Beschichtungsaufträge.

Das Gebäude befindet sich in exponierter Einzellage. Die Fassade ist als stark witterungsbeansprucht einzustufen. Nach vier Jahren Standzeit waren deutliche Beschichtungsablösungen entstanden. Besonders im Kantenbereich war im Wesentlichen keine Lasur mehr vorhanden (Bild 166 und Bild 167).

Vom Gebäudeeigentümer war ein Renovierungsintervall von circa zehn Jahren erwartet worden.

Ursache

Beschichtungen können im Bereich scharfer Kanten keine ausreichende Schichtdicke ausbilden (Kantenflucht). Infolge dessen war dort kein optimaler Schutz vor eindringender Feuchtigkeit sichergestellt. Scharfkantige Ausführungen, also auch gefaste Kanten zeigen erfahrungsgemäß bei allen Beschichtungssystemen ein frühzeitiges Versagen der Beschichtung an der Kante und damit ein Ablösen. Deshalb sind Kanten auf einen Rundungsradius $R \geq 2$ mm zu runden.

Das Erwarten eines Renovierungsintervalls von zehn Jahren ist bei Verwendung von Lasuren auf Holzbauteilen mit starker Beanspruchung als unrealistisch einzustufen. Hier ist ein Renovierungsintervall von circa drei Jahren einzuplanen.

Stellungnahme

Das Ziel von Lasuren ist, die Struktur des Holzes sowie seine Farbabstufungen sichtbar zu belassen. Deckende Beschichtungen, auch als Holzfarbe oder Wetterschutzfarbe bezeichnet, bieten diesen gestalterischen Aspekt der Lasur nicht.



Bild 166 ▪ Be-schichtungsschäden an der Schalung aus Fichtenholz



Bild 167 ▪ Von der Kante ausgehende Ablösung der Lasurbeschichtung

Außenbauteile aus Holz sind den am Standort vorherrschenden Umwelt- und Wetterbeanspruchungen ausgesetzt. Eine wichtige Funktion jeder Holzbeschichtung ist die Verminderung des Eindringens von Wasser. Dabei gilt es, den Feuchtigkeitswechsel und damit das Quellen und Schwinden des Holzes zu verringern.

Die Haltbarkeit oder Schutzwirkung einer Beschichtung hängt wesentlich von der Intensität der Wetterbeanspruchung ab. Die Beanspruchung einer Beschichtung ergibt sich aus der Bewertung der klimatischen Bedingungen und der Konstruktion. Die Klimabedingungen beziehen sich auf die einwirkende klimatische Beanspruchung unter Berücksichtigung der Lage und der Himmelsrichtung (Tabelle 31). Mit zunehmender Beanspruchung verkürzen sich die Renovierungsintervalle.

Tabelle 31 ■ Bestimmung der Beanspruchung nach DIN EN 927-1 [38]

Konstruktion/ Holzbauteil	Klimabedingungen		
	gemäßigt	strengh	extrem
	Nordseite	Ostseite	Süd-/Westseite
geschützt	schwach	schwach	mittel
teilweise geschützt	schwach	mittel	stark
nicht geschützt	mittel	stark	stark

Die Fassadenverschalung ist als nicht maßhaltiges Bauteil einzustufen. Damit besteht – im Vergleich zum Holzfenster als maßhaltiges Bauteil – keine Begrenzung in der Maßhaltigkeit. Das heißt, es können Formtoleranzen bei der Verschalung in Kauf genommen werden, ohne dass die Funktionstauglichkeit der Verschalung negativ beeinflusst wird.

Grundsätzlich müssen Beschichtungsstoffe für die jeweilige Beanspruchung geeignet sein. Dabei ist am Holzbauteil von der am höchsten zu erwartenden Beanspruchung und dem ungünstigsten baulichen Schutz auszugehen. Beschichtungsstoffe können imprägnierend (farblos oder lasierend) oder schichtbildend (farblos, lasierend oder deckend) sein. Die Wasseraufnahme und die Wasserdampfdurchlässigkeit einer Beschichtung auf Holz ist von der Art des Beschichtungsstoffs und der Schichtdicke abhängig.

Für Verschalungen als nicht maßhaltige Bauteile sind Dünnenschichtlasuren geeignete Beschichtungssysteme. Die erforderliche Schichtdicke für Dünnenschichtlasuren beträgt 20 bis 30 µm als Trockenschichtdicke. Für mittelschichtige Lasuren, die weniger in das Holz eindringen, beträgt die Schichtdicke um die 60 µm. Sie bilden geschlossene Anstrichfilme (schichtbildend),

wodurch ein gewisser Feuchteschutz erreicht und die Bildung von Holzrissen reduziert wird. Mittelschichtige Lasuren wittern in der Regel langsamer ab mit dem Vorteil längerer Renovierungsintervalle. Durch den höheren Festkörpergehalt ist mit Mittelschichtlasuren auch ein besserer Glanz zu erreichen.

Die Holzart Fichte ist für die Anwendung an einer Fassade prinzipiell als geeignet anzusehen, wenn diese beschichtet werden soll. Die eingesetzte Kombination aus Dünnschichtlasur und Mittelschichtlasur hat zu einem höheren Glanzgrad geführt, als wenn nur eine Dünnschichtlasur verwendet worden wäre. Der Nachteil der Mittelschichtlasur ist, dass sie bei der Renovierung abgeschliffen werden muss, bevor der neue Anstrich erfolgen kann. Dünnschichtlasuren müssen hingegen in der Regel nur sehr gründlich abgekehrt werden, um darüber zu streichen. Die Dünnschichtlasur wittert nur ab, ohne abzuplatzen. Der Renovierungsaufwand ist damit geringer.

Man kann sagen, dass filmbildende Beschichtungen eine längere Lebensdauer bieten, aber einen höheren Aufwand bei der Renovierung fordern, während bei den Dünnschichtlasuren eine einfache Renovierung bei kürzerer Lebensdauer anzusetzen ist. Deshalb werden im Hinblick auf die laufenden Unterhaltskosten Dünnschichtlasuren zumeist nur dort empfohlen, wo für die Anstrichüberholung kein Arbeitsgerüst erforderlich ist.

Die Holzschutznorm DIN 68800-3 [26] und das BFS-Merkblatt Nr. 18 [39] benennen einheitlich für lasierende Beschichtungen bei starker Beanspruchung, unter der Voraussetzung einer intakten Holzoberfläche, ein Renovierungsintervall von zwei bis drei Jahren (siehe Tabelle 29).

Die Planung für eine erste Überholungsbeschichtung ist bei starker Beanspruchung mit drei Jahren für eine Lasur anzusetzen (Tabelle 32).

Tabelle 32 ■ Planung der ersten Überholungsbeschichtung nach BFS-Merkblatt Nr. 18 [39]

neue Holzbautypen nach dem Stand der Technik	Intervalle in Jahren Beanspruchung aufgrund von Klimabedingungen und Konstruktion nach DIN EN 927-1					
	schwach		mittel		stark	
	lasierend	deckend	lasierend	deckend	lasierend	deckend
	bis 6 Jahre	bis 10 Jahre	bis 4 Jahre	bis 8 Jahre	bis 3 Jahre	bis 5 Jahre

Zu berücksichtigen ist bei der Auswahl des Beschichtungsstoffes auch, dass dunkelgetönte Beschichtungen zu erhöhten Oberflächentemperaturen führen (bis zu 80 °C). Durch die Erwärmung der Oberfläche kommt es bei harzreichen Nadelhölzern (z. B. Kiefer und Lärche) zu einem verstärktem Harzaustritt. Die

durch den Harzaustritt entstehenden Beschädigungen an der Beschichtung sind durch beschichtungstechnische Maßnahmen nicht zu verhindern.

Weiterhin führt eine Temperaturerhöhung an der Oberfläche zu einer stärkeren Austrocknung der beschichteten Hölzer und damit zu einer erhöhten Rissbildung. Die Rissbildung hat Einfluss auf das Renovierungsintervall, das sich verkürzt. Auch zeigt die Beschichtungspraxis, dass werkseitig applizierte Beschichtungen im Vergleich zu händisch mittels Pinsel applizierten Beschichtungen länger halten.

Eine Alternative zur Lasur ist die deckende Beschichtung, die nach dem Aus härten eine schützende Schicht auf dem Holz bildet. Der gesamte Film ist mit deckenden Pigmenten versehen, sodass durch die Farbe der Holzuntergrund nicht mehr sichtbar ist. Beliebt sind deckende Beschichtungen auf Holz besonders in Skandinavien und den USA (Bild 168).



Bild 168 ■ Deckend beschichtete Holzfassade (Vermont, USA)

3.4.4 Schäden durch Graffitientfernung auf Holz

Situation

An einem mit Lasur beschichteten Holzzaun aus Kiefer war es zu Graffitischmierereien gekommen, die mittels Heißwasserkärcher entfernt wurden. Bei der Graffitientfernung wurde der Holzuntergrund beschädigt.

Im Bereich der Entfernungsstellen war das Holz faserig. Die Holzsubstanz war an der behandelten Oberfläche circa 1 mm tief abgetragen. Es war eine rauhe, leicht unebene Holzoberfläche entstanden. Das Spätholz blieb deutlich erhaben. Lokal lösten sich auch die Jahrringe im Bereich der Graffitientfernung.

Die gereinigten Stellen wurden mit Lasur wieder überstrichen. Das Ergebnis war jedoch unbefriedigend und die Behandlungsstellen waren deutlich sichtbar geblieben (Bild 169 bis Bild 170).



Bild 169 ▪ Durch Heißwasserstrahlen beschädigte Holzoberfläche



Bild 170 ▪ Sichtbar abgetragene Holzsubstanz



Bild 171 ■ Ablösung vom Jahrring (Abschilferung)



Bild 172 ■ Das härtere Spätholz bleibt etwas erhaben gegenüber dem Frühholz stehen.

Ursache

Heißwasserstrahlen zur Graffitientfernung ist für Holz ungeeignet. Eine schonende Entfernung von Graffiti ist möglich. Dazu bedarf es der Anwendung eines auf das Graffiti abgestimmten Graffitientfegers.

Eine vollständig rückstandslose Graffitientfernung ohne die Lasur zu beeinträchtigen, ist auch bei Anwendung von geeigneten chemischen Graffitientfernerprodukten nicht zu erwarten. Es ist immer davon auszugehen, dass ein Graffitientferner nicht nur das Graffiti selbst, sondern auch die vorhandene Holzlasur mit anlöst.

Stellungnahme

Die Graffitischmierereien am Zaun sind unsachgemäß entfernt worden. Durch die Entfernungsmethode »Heißwasserkärchern« wurde die Holzoberfläche an den Zaunlatten aus Kiefernholz angegriffen.

Die weicheren und weitumigeren, im Frühjahr gebildeten Frühholzbestandteile des Jahrrings wurden infolge der Behandlung fast 1 mm tief abgetragen; die härteren, im Herbst gebildeten Spätholzbestandteile sind unverändert verblieben. Durch die Entfernung von Frühholzbestandteilen ist eine leicht unebene Oberfläche am Holz mit Vertiefungen und Rillen entstanden. Die Holzoberfläche ist nicht mehr glatt. Der weichere Holzanteil wurde partiell entfernt.

Ein Abtragen von Frühholz erfolgt bei einer mechanischen Beanspruchung von Nadelholz relativ schnell. Somit auch bei der verwendeten Kiefer, die zu den sogenannten Weichhölzern gehört. Diese Holzart stellt einer Behandlung mit Heißwasserstrahlen nur wenig mechanischen Widerstand entgegen, da sie für diese Beanspruchung nicht ausreichend hart ist. Bei Laubhölzern ist ein Abtragen von Frühholz im Vergleich zum Nadelholz wesentlich schwieriger.

Um Graffiti von lasierten Holzoberflächen möglichst schonend zu entfernen, eignen sich Graffitientferner als Abbeizer. Auch bei sehr sorgfältiger Arbeit ist es nicht möglich, das Graffiti ohne Beschädigung der darunter befindlichen Lasurschicht zu entfernen.

In der Regel werden die Graffitientferner mit einem weichen Pinsel aufgetragen, anschließend mit einem weichen Tuch nach kurzer Einwirkzeit aufgenommen und mit Reinigungsfluid nachgereinigt. Für dieses sensible Prozedere der Entfernung sind Fachkräfte nötig.

Am Markt werden mehrere Produkte zur Graffitientfernung angeboten. Ein vorheriges Ausprobieren an einer Musterfläche ist stets unerlässlich.

3.4.5 Vergrauung von Holzfassaden

Situation

An einer Holzverschalung aus Lärche war es zu einer Farbänderung von einem anfänglich rötlichen Farbton nach grauschwarz gekommen. Daraufhin wurde eine bräunliche Lasur aufgebracht (Bild 173).

Es wurde diskutiert, ob eine Lasur zum Schutz des Holzes notwendig gewesen war oder das Holz auch unbehandelt an der Fassade hätte verbleiben können.



Bild 173 ▪ Gegenüberstellung von behandeltem und unbehandeltem Holz: links beginnende Vergrauung von unbehandeltem Lärchenholz und rechts Holz mit aufgebrachter Lasur

Ursache

UV-Strahlung zerstört Lignin, einen Hauptbestandteil von Holz. Die Holzoberfläche wird in Verbindung mit Feuchtigkeit durch den Abbau des Lignins zerstört. Es entstehen wasserlösliche Abbauprodukte, die durch Regen ausgewaschen werden. Die Holzoberfläche zeigt dann eine silbrig graue bis schwärzliche Verfärbung.

Stellungnahme

Der eingetretene Zustand wird als Vergrauung bezeichnet. In diesem Zustand ist die Tragfähigkeit der Holzoberfläche für eine eventuelle Beschichtung nicht mehr gegeben, weil die verbleibende Cellulose kein tragfähiger Beschichtungsträger ist. Deshalb müssen vergraute Hölzer vor einem gewünschten Auftrag einer Beschichtung abgeschliffen werden. Andernfalls blättert die Anstrichschicht ab.

Holz, das nicht beschichtet wird, vergraut und verändert seine natürliche Farbe. Das ist ein üblicher Prozess und gilt für alle Holzarten sowie für modifizierte Hölzer. Die Vergrauung des Holzes ist eine eintretende Verfärbung bei längerer Bewitterung, wenn dieses nicht durch Anstriche geschützt ist. Die Vergrauung ist auf den photochemischen Abbau des Lignins zurückzuführen. Nach Auswaschen der ligninstämmigen Abbauprodukte treten die weißen Mikrofibrillen an die Oberfläche, die einen Graueffekt hervorrufen.

Die Entscheidung, ob eine Vergrauung zugelassen wird oder nicht, hängt in der Regel von optischen Erwägungen sowie den entstehenden Unterhaltskosten ab. Die Kosten für Pflege, Wartung beziehungsweise Renovierung einer Beschichtung, aber auch für eine Erstbeschichtung sind in der Praxis häufig das

Entscheidungsargument für eine unbehandelte Holzfassade, die man vergrauen lässt (Bild 174 und Bild 175). Dabei kann ein interessantes Erscheinungsbild entstehen.

Bei einer Entscheidung für eine Holzfassade die vergrauen soll, ist die Holzart Lärche als gut geeignet anzusehen. Mögliche Nachteile, die zu akzeptieren sind, wären eine nicht immer einheitliche Vergrauung infolge einer unterschiedlichen Witterungsbeanspruchung und dass gegebenenfalls Bläuepilze eine einheitliche Graufärbung beeinträchtigen (Bild 176). Soll ein einheitlich graues Erscheinungsbild erzielt werden, dann wäre eine technische Vorvergrauung zu bevorzugen (Bild 177).



Bild 174 ■ Einheitliche Vergrauung an einer besonnten Fassade aus Holzschindeln



Bild 175 ■ Eichenholz vergraut zumeist in einem silbrigen Farbton



Bild 176 ■ Unterschiedliche Vergrauung an einer Lärchenfassade:
Die hellen Partien verbleiben lange Zeit an den witterungsgeschützten Stellen.



Bild 177 ■ Holzfassade aus Zedernholz industriell vergraut mit einheitlichem Erscheinungsbild

3.5 Dächer

3.5.1 Schimmel- und Bläuepilzbefall an der Dachuntersicht aus Holzwerkstoffplatten

Situation

Für die nicht überdämmte Dachuntersicht eines öffentlichen Gebäudes wurden Sperrholzplatten aus Birke verwendet, die mit einer Lasur beschichtet wurden. Nach zwei bis drei Jahren Standzeit wurden an einigen Platten schwärzliche Verfärbungen am Deckfurnier auffällig, während andere Platten unverändert im honiggelben Farbton der Birke verblieben sind (Bild 178 und Bild 179).



Bild 178 ■ Dachuntersicht mit hellen und dunkel verfärbten Holzwerkstoffplatten



Bild 179 ■ Abwechselnd dunkel und hell verfärbte Plattenoberfläche

Ursache

Die Ursache für die nur lokale Verfärbung einzelner Platten war ein Befall durch Schimmel- und Bläuepilze. Die Platten mit unverändert honiggelbem Farbton waren mit einer Lasur beschichtet, die fungizide Eigenschaften aufwies, während die schwärzlich verfärbten Platten nicht mit einem zusätzlichen Filmschutz in der Lasur gegen Schimmel und Bläue behandelt waren. Bei der Montage wurden die unterschiedlich beschichteten Platten miteinander vermischt.

Stellungnahme

Pilze benötigen Feuchtigkeit für ihre Entstehung und Entwicklung. Im vorliegenden Fall war die Dachuntersicht vor direkter Bewitterung geschützt und keine unzuträgliche Befeuchtung durch Niederschlagseinwirkung zu erwarten. Jedoch kann an wolkenlosen Tagen und besonders in den klaren Nächten die sogenannte Nachtabstrahlung auftreten. Bei der Nachtabstrahlung handelt es sich um langwellige Wärmestrahlung von der Erde in den Weltraum. Dabei unterschreitet die Oberflächentemperatur an der Platte die umgebende Außenlufttemperatur. Es kommt zum Tauwasserausfall. Ist der Himmel hingegen bedeckt, verhindern die Wolken, dass Wärme abgestrahlt wird.

Das Entstehen von Tauwasser ist die Grundlage für eine Besiedelung der Platten mit Schimmel- und Bläuepilzen. Wenngleich beide Pilzgruppen nicht holzerstörend sind, bewirken sie eine Verfärbung. Bedingt durch feine Schälrisse an den Sperrholzplatten, welche die Beschichtung schädigen und so Eintrittspforten für Feuchtigkeit schaffen, gelangt Feuchtigkeit an die Holzoberfläche. Der hohe Nährstoffgehalt von Birke stellt zusätzlich einen idealen Nährboden für Pilze dar.

Um die Gefahr eines Schimmel- und Bläuepilzbefalls zu vermindern, müssen Konstruktion, Material und Beschichtung aufeinander abgestimmt sein. Um Tauwasser zu verhindern, sollte der Dachüberstand überdämmt werden (bauliche Maßnahme). Die Verwendung von Holzwerkstoffplatten mit natürlich dauerhafteren Holzarten oder einem qualitativ hochwertigen Deckfurnier beziehungsweise einem anderen Plattentyp (zum Beispiel Dreischichtplatte, vgl. Bild 180) stellt die materialtechnischen Möglichkeiten zur Schimmelvermeidung dar. Gerade Birke und auch Seekiefer bieten aufgrund ihres höheren natürlichen Stärke- und Zuckergehalts für Schimmelpilze ein deutlich besseres Nährstoffangebot als andere Holzarten. Aus beschichtungstechnischer Sicht sollten Produkte Anwendungen finden, die neben den feuchteschutztechnischen Anforderungen auch schimmelpilzwidrige Eigenschaften aufweisen.

Werden bauliche Aspekte oder material- und beschichtungstechnische Eigenarten beachtet, dann steht der Verwendung von Holzwerkstoffplatten als Dachuntersicht nichts entgegen. Nachfolgende Tabelle 33 benennt die Eignung von verschiedenen Holz und Holzwerkstoffen für die Ausbildung von Dachüberständen und -untersichten.

Tabelle 33 ■ Eignung von Holz und Holzwerkstoffen für die Ausbildung von Dachüberständen und Dachuntersichten in Anlehnung an [27]

Material	Eignung
■ Vollholzschalung oder Massivholzplatte: Fichte/Tanne	■ geeignet (Massivholzplatten mit Decklagen >7 mm der Erscheinungsklasse O/A ¹⁾ , Oberflächenbeschichtung vorsehen)
■ Vollholzschalung oder Massivholzplatte: Lärche/Douglasie	■ gut geeignet (Massivholzplatten mit Decklagen >7 mm der Erscheinungsklasse O/A ¹⁾ , Oberflächenbeschichtung vorsehen)
■ Massivholzbauteile	■ gut geeignet
■ zementgebundene Spanplatte	■ gut geeignet
■ Furnierschichtholz (Fichte)	■ bedingt geeignet (Schälfurniere kritisch; möglich bei guter Oberflächenqualität und geeigneter Beschichtung und Überdämmung)
■ Sperrholz: Nordische Fichte	■ bedingt geeignet (Schälfurniere kritisch; möglich bei guter Oberflächenqualität und geeigneter Beschichtung und Überdämmung)
■ OSB	■ bedingt geeignet (Anwendung nur bei feuchteunempfindlicher PMDI-Verklebung in Verbindung mit geeigneter Beschichtung und Überdämmung)
■ Sperrholz: Seekiefer, Birke, Buche	■ nicht geeignet (nicht dauerhaft, kritische Schälfurniere und Inhaltsstoffe)

1) Zur Definition der Erscheinungsklassen siehe DIN EN 13017-1 [66]



Bild 180 ■ Geeignete Dreischichtplatten als Dachuntersicht

3.5.2 Schäden am nicht belüfteten Flachdach in Holzbauweise

Situation

Bei der Erneuerung des Terrassenbelags auf einem nur wenige Jahre alten Flachdach in Holzbauweise war ein weicher, nachgebender Untergrund mit einer deutlichen Absenkung auffällig geworden. Unterhalb der Dachterrasse befindet sich ein Wohnzimmer.

Anhand einer lokalen Bauteilöffnung wurde folgender Schichtenaufbau festgestellt:

- Bitumenbahnabdichtung,
- OSB-Platte,
- Mineralwolleldämmung im Gefach,
- feuchtevariable Dampfbremse/Luftdichtheitsschicht,
- Gipskarton, direkt verschraubt.

Die OSB-Platte war augenscheinlich vollständig zersetzt und wies keinerlei Festigkeit mehr auf (Bild 181). Die Holzpartikel (Strands) zeigten faserige Auflockerungen und es waren weißliche Pilzmyzelien erkennbar. Die mikroskopisch bestimmte Pilzart war der Ausgebreitete Hausporling (*Donkioporia expansa*). Weiterhin wurden auf einigen Strands der OSB-Platte schwarze, dünne, fest anhaftende Strangmyzelien vom Brauen Kellerschwamm (*Coprophora puteana*) festgestellt (Bild 182).

Es waren feuchtebedingte Abtropfspuren auf der Dampfsperre sichtbar (Bild 183). Ein auf den Flachdachsparren befestigter ~2 cm dicker Gefällekeil zeigte Schäden durch Braunfäule (Bild 184). Auch an der Oberseite des Flachdachsparren war die Pilzschädigung vorhanden.

Die Mineralwolle im Gefach war spürbar feucht und es war zur Schimmelpilzbildung gekommen. Die elektrisch im Leitwertverfahren erfolgte Holzfeuchtemessung ergab Holzfeuchtegehalte von minimal 22 % bis maximal 41 %.

Raumseitig war im Wohnzimmer unterhalb des Schadbereichs eine Abrissfuge im Trockenbau deutlich sichtbar.



Bild 181 ▪ Die OSB-Platte als obere Beplankung hat sich aufgrund von Feuchteinwirkung und pilzlichem Abbau stark aufgelöst.



Bild 182 ▪ Schwarze, dünne, fest anhaftende Strangmyzelien vom Brauner Kellerschwamm auf den Strands der OSB-Platte



Bild 183 ■ Feuchtebedingte Ablaufspuren auf der Dampfbremse



Bild 184 ■ Braunfäuleschädigung am Gefällekeil und an der Sparrenoberseite

Ursache

Ein unzuträglicher Feuchteeintrag durch äußere Einflüsse konnte ausgeschlossen werden. Es bestanden keine Abdichtungs- und Anschlussmängel. Die Ursache für die Pilzschädigung war eine Leckagestelle an der raumseitigen Luftdichtheitsschicht, wo warme Raumluft in die Flachdachkonstruktion eindringen konnte, die in der Winterperiode an der kalten OSB-Platte kondensierte. Über die Jahre war es damit zu einer Erhöhung der Holzfeuchte gekommen. Eine Austrocknung nach oben war infolge der dampfdichten Bitumenbahn einschließlich des Terrassenbelags nicht gegeben. Eine Austrocknung allein über die Raumseite mittels Umkehrdiffusion im Sommer war nicht ausreichend.

Stellungnahme

Die Flachdachbauweise mit der Wärmedämmung ausschließlich in der Tragebene ist als Sonderkonstruktion einzustufen. Untersuchungen belegen für diese Bauart eine niedrige Fehlertoleranz mit der Folge einer erhöhten Schadenanfälligkeit [29]. Besonders zu berücksichtigen sind zusätzliche Deckschichten oder Verschattungen, weil dadurch die zwingend erforderliche Rücktrocknung zum Raum reduziert wird. Von solchen Konstruktionen ist abzuraten. Soll dieser Dachaufbau dennoch erfolgen, ist deren Anwendung auf werkseitig vorgefertigte Dächer mit definierten Randbedingungen (z. B Qualitätsmanagement bei der Ausführung) zu begrenzen oder die Funktionstüchtigkeit ist durch ein Feuchtemonitoring zu überwachen.

Als trocken gilt Holz bis maximal 20 % Holzfeuchte. Ab langfristigen Werten über 20 % Holzfeuchte besteht das Risiko einer Pilzschädigung.

Die als Schaderreger diagnostizierten holzzerstörenden Pilze Ausgebreiteter Hausporling und Brauner Kellerschwamm gehören zu den Nassfäuleerreger und benötigen für ihre Entwicklung und das Wachstum hohe Holzfeuchten. Der Ausgebreitete Hausporling verursacht Weißfäule und gilt erfahrungsgemäß als häufiger Vertreter bei Feuchteschäden an Flachdächern in Holzbauweise. Ebenso tritt er nicht selten im Bereich von Duschen auf Holzbalkendecken auf, wenn Mängel an der Abdichtung bestehen. Der Braune Kellerschwamm verursacht hingegen Braunfäule.

Der Echte Hausschwamm (*Serpula lacrymans*) als Schaderreger ist im Flachdach eher unwahrscheinlich, weil die entstehenden Holzfeuchten für diesen Pilz zumeist nicht optimal sind.

Um schadenfreie Flachdächer in Holzbauweise zu errichten, empfiehlt sich eine Wärmedämmung oberhalb der Tragebene. Die Dämmung liegt auf der Tragkonstruktion und ist dem Innenraumklima ausgesetzt (Aufdachdämmung). Die vollständige Überdämmung hat wesentliche bauphysikalische Vorteile (Tragkonstruktion nicht tauwassergefährdet) und ermöglicht bei ausreichender Druckfestigkeit des Dämmstoffs eine uneingeschränkte Nutzbarkeit der Dachoberfläche, zum Beispiel als Terrasse [27]. Zugleich übernimmt die Diffusionssperre unterhalb der Aufdachdämmung in der Bauphase die Funktion einer Behelfsabdichtung und bietet damit eine hohe Sicherheit.

3.5.3 Pilzbefall an der Unterkonstruktion einer Dachterrasse

Situation

Zu einer Penthousewohnung gehörte eine aufgeständerte Terrassenfläche. Für den Belag wurden massive Terrassendielen aus Lärche verwendet. Die Dielen waren ohne Abdeckung direkt auf der Balkenlage aus Nadelholz verschraubt. Informationen über eine vorbeugende chemische Holzschutzmaßnahme an den Balken lagen nicht vor. Im Rahmen von Reinigungsarbeiten am Belag wurden Schäden an der Unterkonstruktion nach circa fünf Jahren Standzeit erkannt. Mit dem vollflächigen Aufnehmen des Belags wurde das Gesamtausmaß des Holzschadens offenkundig. Es wurden insbesondere biotische Schäden durch Blättlingsarten und weitere Nassfäulepilze an der Balkenlage als Unterkonstruktion festgestellt (Bild 185 bis Bild 187).



Bild 185 ■ Unterkonstruktion der Terrassenfläche nach Entfernung des Belags

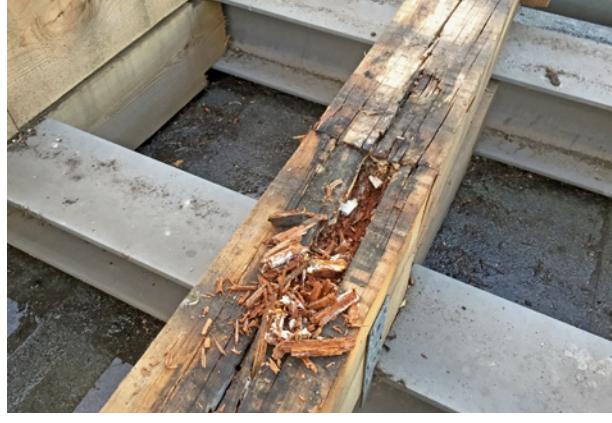


Bild 186 ■ Vollständig an der Oberseite zerstörte Holzsubstanz durch Pilzbefall



Bild 187 ■ Mit Pilzmyzel durchwachsenes braunfaules Holz

Ursache

Es handelte sich um eine offene Konstruktion ohne eine wasserabweisende Abdeckung. Die waagerecht verlegten Balken der Terrassenunterkonstruktion unterlagen der hohen Beanspruchung in Gebrauchsklasse 3.2 (GK 3.2) mit einer Anreicherung von Wasser im Holz. Eine schnelle Ableitung von Niederschlagswasser war nicht zu erwarten.

In GK 3.2, bei der das Holz durchaus über längere Zeit nass sein kann, ist ein Pilzbefall bei unzureichendem oder fehlendem chemischen Holzschutz äußerst wahrscheinlich. Ohne bauliche Schutzmaßnahmen, der Verwendung natürlich dauerhafter Holzarten oder eines vorbeugenden Schutzes des Holzes mit Holzschutzmitteln, ist keine ausreichend lange Standzeit für die Hölzer zu erwarten.

Stellungnahme

Die Terrassenfläche stellt eine offene Konstruktion dar. Ein Unterboden, der Wasser ableitet und Schmutz aufnimmt, war nicht vorhanden. Der Belag war mit Fugen angeordnet. Sofern eine solche offene Konstruktion ausgebildet werden soll, muss eine Abdeckung der Hauptträger erfolgen. Bild 188 zeigt das Prinzip einer offenen Terrassenkonstruktion.

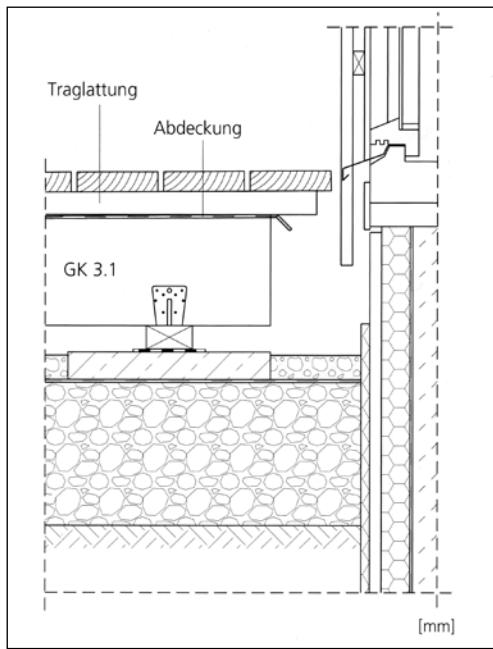


Bild 188 ■ Prinzip einer offenen Terrassenkonstruktion ([49], S. 24)

Offene Konstruktionen sind möglich. Sie haben jedoch den Nachteil, dass Schmutz und Wasser nicht abgeleitet werden. Bei übereinanderliegenden Wohnungen müssen für Balkone oder Balkone über Terrassen geschlossene Konstruktionen ausgeführt werden.

Geschlossene Konstruktionen werden mit einer geschlossenen wasserableitenden Schicht (Unterboden) ausgeführt. Auf der Oberfläche des Unterbodens wird eine wasserableitende, UV-beständige Abdichtungsbahn angeordnet [49]. Der Unterboden darf aus einer Brettschalung oder aus Holzwerkstoffen, die für eine Verwendung in Nutzungsklasse 2 nach DIN EN 1995-1-1/NA [8] zugelassen sind, hergestellt werden. Der Unterboden muss ein Gefälle von mindestens 2 % aufweisen.

Der bauliche Holzschutz hat grundsätzlich Vorrang. Erst wenn durch bauliche Maßnahmen allein das Schutzziel nicht erreicht werden kann und/oder Hölzer verwendet werden sollen, die für die jeweilige Gebrauchsklasse keine ausreichende natürliche Dauerhaftigkeit aufweisen, darf an diesen Bauteilen die Anwendung von Holzschutzmitteln nach DIN 68800-3 [26] erfolgen. Durch die Behandlung mit Holzschutzmitteln kann bei Holzarten, deren natürliche Dauerhaftigkeit für den jeweiligen Verwendungszweck nicht ausreichend ist, auch unter hoher Beanspruchung eine langfristige Gebrauchs dauer sicher gestellt werden. Damit ergeben sich Anforderungen an die Eindringtiefe

des Holzschutzmittels. Die Anforderungen an die Eindringtiefe werden in DIN 68800-3 [26] in sechs Klassen von NP 1 bis NP 6 festgelegt (Tabelle 34). Der Begriff NP ist dabei aus dem Englischen entnommen und bedeutet »New Penetration Class«. Den Zusammenhang zwischen den Anforderungen an die Eindringtiefe und der Gebrauchsklasse verdeutlicht Tabelle 35.

Tabelle 34 ■ Eindringtiefeklassen mit Anforderungen an die Eindringtiefe von Holzschutzmitteln (entnommen aus DIN 68800-3) [26]

Eindringtiefeklasse	Eindringtiefeanforderung ^{b)}
NP 1	keine
NP 2	mindestens 3 mm seitlich im Splintholz
NP 3	mindestens 6 mm seitlich im Splintholz
NP 4 ^{a)}	mindestens 25 mm seitlich
NP 5	gesamtes Splintholz
NP 6	gesamtes Splintholz und mindestens 6 mm im freiliegenden Kernholz

a) Gilt nur für Rundholz schwer tränkbarer Holzarten

b) Ob die Anforderungen an eine Eindringtiefeklasse erfüllt werden können, hängt von der Tränkbarkeit der jeweiligen Holzart ab. Beachtet werden sollte, dass es bei manchen Hölzern nicht immer möglich ist, bestimmte Eindringtiefeklassen zu erreichen und dass bei einigen Hölzern besondere Maßnahmen erforderlich sein können, um die angestrebte Eindringtiefe zu erreichen (z. B. Perforation, spezielle Trocknungsprogramme, Tauchverfahren). Erfahrungsgemäß ist dies bei NP-5- und NP-6-Behandlungen von Fichte (*Picea spp.*) der Fall.

Tabelle 35 ■ Anforderungen an die Eindringtiefe für tragende Holzbauteile aus Schnittholz und Rundholz (entnommen aus DIN 68800-3:2020-03, S. 22) [26]

Gebrauchs-klasse (GK)	Eindringtiefeklasse			
	Schnittholz		Rundholz	
	schwer tränkbar	gut tränkbar	schwer tränkbar	gut tränkbar
1	NP 1			
2	NP 1			
3.1	NP 3 ^{a)}	NP 5	NP 3 ^{a)}	NP 5
3.2				
4	NP 6 ^{a)}	NP 6	NP 4 ^{a)}	NP 5

a) Für schwer tränkbare Holzarten in den Gebrauchsklassen 3 und 4 ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich.

4 Schadenbeispiele im Innenbereich

4.1 Schimmel, Schadstoffe und Holzzerstörer

4.1.1 Schimmelbefall am Dachstuhl

Situation

An einem im Bau befindlichen Einfamilienhaus war es im Winter zu Schimmelbefall am Dachstuhl (Spitzboden) gekommen. Bei den bestimmten Schimmelpilzen handelte es sich um die Gattungen *Cladosporium* und *Alternaria*.

Für die Sparren wurde Konstruktionsvollholz (KVH) und für die beiden Mittelpfetten wurde Brettschichtholz (BS) verwendet. Beide in der Holzart Fichte.

Zum Zeitpunkt des Ortstermins wurde an allen sichtbaren Hölzern im Spitzboden Schimmelpilzbefall festgestellt (Bild 189 und Bild 190). Teilweise waren dicke Schimmelpilzmatten gewachsen, wobei die Nordseite dabei visuell stärker als die sonnige Südseite betroffen war. Die Metallteile waren korrodiert und die gemessene Holzfeuchte betrug um die 21 %.



Bild 189 ■ Flächiger Schimmelbefall an den Sparren aus Konstruktionsvollholz



Bild 190 ■ Es ist ein dicker Myzelrasen auf der Holzoberfläche entstanden.

Auch an der Unterspannbahn bestand ein Befall durch Schimmelpilze als kleinere runde Anhäufungen. Die Unterspannbahn war im First überlappend verlegt und die Traufe mit Mineralwolle verschlossen (Bild 191 und Bild 192). Zu- und Abluftöffnungen waren im Spitzboden nicht vorhanden.

Ursache

Über eine offene Durchführung von Installationsrohren in der Deckenebene war feuchtwarme Luft während der Putz- und Estricharbeiten im Gebäude in den kalten Spitzboden gelangt. Bedingt durch die fehlende Belüftung des Dachstuhls kam es zur einer Feuchteerhöhung des ursprünglich trocken eingebauten Dachstuhlholzes mit der Folge der Auskeimung allgegenwärtiger Schimmelpilzsporen.

Stellungnahme

Alternaria- und *Cladosporium*-Arten sind Schimmelpilze, die häufig in der Umgebungsluft vorkommen und zu dunklen Verfärbungen an Holzoberflächen und anderen Materialien führen können. Sie sind keine Holzzerstörer.

Die bestimmten Schimmelpilze gehören nicht zu den Arten, die hinsichtlich einer gesundheitlichen Gefährdung als besonders kritisch eingeschätzt werden. Sie können jedoch grundsätzlich zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen, zum Beispiel Allergien auslösen oder Krankheiten verursachen. Die konkrete Gefährdung ist immer abhängig von der Disposition (Empfindlichkeit) der Personen, der Häufigkeit des Kontakts, der Intensität des Befalls und der auftretenden Arten.



Bild 191 ■ Fehlende Lüftungsöffnung im First



Bild 192 ■ Verschlossene Zuluftöffnung an der Traufe

Voraussetzung für Schimmelpilzbefall an Holz und Holzwerkstoffen ist immer eine erhöhte Bauteilefeuchte (Holzfeuchte). Die örtlich gemessene Holzfeuchte um 21 % sowie die korrodierten Befestigungsmittel zeigen, dass unzuträgliche Feuchtebedingungen im Spitzboden vorgelegen haben, die zum Schimmelbefall führten.

Schimmelpilz ist ein Sammelbegriff für Pilze, die typische Pilzfäden (Hyphen) und Sporen (Konidien) ausbilden. Sie können mit bloßem Auge als farbiger Belag wahrgenommen werden. Schimmelpilze bilden in der Wachstumsphase Hyphen, die in der Gesamtheit als Myzel bezeichnet werden. Zur Vermehrung und Verbreitung dienen mikroskopisch kleine Sporen im Größenbereich von ungefähr 2 bis 30 µm. Sie können in der Luft über weite Strecken schweben und eingearmet werden und. Schimmelpilze können an fast allen Werkstoffen auftreten. An feuchten Oberflächen bildet sich schnell ein feiner Schimmelpilzrasen. Bei längeren Zeiträumen entstehen auch dicke Schimmelpilzmatten.

Schimmelpilze wachsen nur auf feuchtem Holz und nicht auf trockenem Holz. Das für die Sparren verwendete Konstruktionsvollholz (Kvh) wird vom Holzhandel mit einer Holzfeuchte von $15 \pm 3\%$ geliefert, Brettschichtholz wird für die Verleimung auf eine Holzfeuchte von ungefähr 11 % getrocknet. Unter diesen trockenen Bedingungen besteht keine Gefahr eines Schimmelpilzbefalls auf Holz.

Schimmelpilze sind ein natürlicher Teil unserer belebten Umwelt und ihre Sporen sind daher auch in allen Innenräumen vorhanden. Zu vermeiden ist eine erhöhte Konzentration von Schimmelpilzen durch Schimmelwachstum im Innenraum.

Zur Bewertung eines sichtbaren Schimmelpilzsadens dient der Leitfaden des Umweltbundesamts [33]. Hier erfolgt eine Einteilung in drei Kategorien. Im vorliegenden Fall ist eine Einteilung in die höchste Kategorie vorzunehmen. Es handelt sich um die Kategorie 3: Großer Schimmelbefall. Diese Kategorie ist anzusetzen ab einer Befallsfläche von $>0,5\text{ m}^2$.

Der Schimmelleitfaden nimmt auch eine Einteilung in Nutzungsklassen als so genannte Raumklassen vor (nicht zu verwechseln mit DIN EN 1995-1-1/NA). Hintergrund ist, dass eine Schimmelbelastung in Innenräumen und Gebäude teilen, in denen man sich dauerhaft oder nicht nur vorübergehend aufhält, für die Raumnutzer ein höheres gesundheitliches Risiko darstellt als Schimmelbefall in Nebenräumen außerhalb und abseits der üblichen Nutzungsräume, in denen man sich nur gelegentlich aufhält oder die lediglich als Lager verwendet werden.

Ein Spitzboden zählt zur Nutzungsklasse III (reduzierte Anforderungen), wenn es sich um ein nicht ausgebautes Dachgeschoss handelt, das über eine Dachluke oder eine verschließbare Tür vom Treppenhaus außerhalb der Wohnung erreichbar ist. Im vorliegenden Fall handelte es sich zwar um ein nicht ausgebautes Dachgeschoss, jedoch befand sich die Luke nicht außerhalb der Wohnung (Einfamilienhaus). Insofern ist hierbei tendenziell die Nutzungsklasse II (normale Anforderungen) zu erwarten.

Der Schimmelschaden kann nur durch Entfernung von Biomasse beseitigt werden [34]. Eine Biozidbehandlung entspricht nicht den anerkannten Regeln der Technik, weil bei der Biozidbehandlung die Schimmelpilze nur abgetötet, jedoch nicht beseitigt werden. Zudem widerspricht das Verfahren der Biozidverordnung [35].

Wichtig bei allen Sanierungsmaßnahmen ist möglichst staubarmes Arbeiten, um die Verteilung von Schimmelssporen mit dem Staub und über die Luft so gering wie möglich zu halten. Feuchtes Reinigen (Wischen) ist dem trockenen Saugen vorzuziehen. Beim Staubsaugen sollten nur Geräte mit Zusatzfilter

(hochabscheidende Schwebstofffilter wie HEPA-Filter) benutzt werden. Fegen sollte ganz unterbleiben, da dabei unnötig Staub aufgewirbelt und verteilt wird.

Ziel der Sanierung ist die Wiederherstellung des hygienischen und baulichen Zustands vor Schadeneintritt, das heißt, dass

1. kein sichtbarer und/oder verdeckter Schimmelpilzbewuchs mehr vorhanden sein darf,
2. keine auffällige biogene Raumluftbelastung und Kontamination verbleibt,
3. keine schadenbedingten Geruchsbelästigungen mehr bestehen,
4. keine Feuchtebelastungen mehr vorhanden sind sowie
5. die Schadenursache grundlegend beseitigt ist.

Eine räumliche Verschleppung der Schimmelpilzbestandteile ist zu verhindern, das heißt, es darf keine Verwirbelung und erhöhte Staubbelastrung bestehen.

Sanierungsziel sollte grundsätzlich das Herstellen einer üblichen Hintergrundbelastung sein. Als übliche Hintergrundbelastung wird nach aktuellem Erkenntnisstand die natürlich vorhandene Kontamination mit Pilzbestandteilen und Sporen verstanden, wie sie in einem vergleichbaren Innenraum mit vergleichbarer Nutzung ohne erkennbaren und nachgewiesenen Schimmelpilzschaden angetroffen wird.

Es sei darauf hingewiesen, dass ein dauerhafter Erfolg der Sanierungsmaßnahme nur dann gegeben ist, wenn keine erneute Durchfeuchtung der betroffenen Konstruktion erfolgt. Das heißt, der nicht beheizte Dachboden ist ausreichend mit Außenluft zu durchlüften und konvektive Strömungen von warmer Raumluft in den Dachraum sind durch eine entsprechende Luftdichtheit zu vermeiden.

Die Planung der Beseitigung eines mikrobiellen Befalls wird durch die zu erwartende Sporenkonzentration während der Sanierung sowie den spezifischen Gegebenheiten des Befallsorts und seiner Umgebung bestimmt. Ziel der Planung ist, Art, Ausführung und Abfolge der Maßnahmen so festzulegen, dass neben der erfolgreichen Bekämpfung/Entfernung des Schimmelpilzbefalls ein ausreichender Schutz für Personen, die sich im Einzugsbereich der Sanierung befinden, gegeben ist. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass es nicht zur Verschleppung von Biomasse in ursprünglich nicht befallene Bereiche kommt.

Für Tätigkeiten bei der Schimmelsanierung gilt die Biostoffverordnung (BioStoffVO) [36]. Sie regelt Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und beschreibt Maßnahmen zum Schutz anderer Personen, die durch die Sanierungstätigkeiten gefährdet werden können.

Für die Beseitigung des Schimmelpilzbefalls ist Sachkunde erforderlich (Fachfirma). Als sachkundig gilt, wer durch Kenntnisprüfung den Nachweis erbracht hat, dass eine Schimmelpilzbeseitigung fachlich und handwerklich einwandfrei erbracht werden kann.

Es ergeben sich folgende wesentliche Arbeitsschritte:

- Sofortmaßnahmen (zum Beispiel Abschottung/Abdeckung),
- Durchführung der Schimmelsanierung,
- Feinreinigung,
- Überprüfung des Sanierungserfolgs.

Ein Rückbau der schimmelpilzbefallenen Holzbauteile ist nicht notwendig, da Holzschäden durch Schimmelpilze in der Regel nur im oberflächennahen Bereich vorzufinden sind und kein Eindringen/Wachstum der Schimmelpilze in tiefere Schichten stattfindet (im Gegensatz zu holzzerstörenden Arten). Zugleich ist der Aufwand für einen Rückbau in der Regel extrem aufwendig und Ressourcen vernichtend.

Folgende Arbeitstechniken sind zur Schimmelpilzentfernung auf Holz möglich:

- Abbeilen (handwerkliche Technik),
- Hobeln (mit Hand oder üblicherweise mit Elektrohobel),
- Strahlen (z. B. Trockeneisstrahlen),
- Schleifen (z. B. elektrisch betriebene Schleifgeräte),
- Abbürsten (nur bedingt bei massiven Holz geeignet),
- Abwaschen (z. B. Vakuum-Wasch-Verfahren oder Reinigung mit Pads),
- Latexreinigung (spezielle Reinigungstechnik bei der ein flüssiges Latex-Gemisch auf die zu reinigende Oberfläche im Streich- oder Spritzverfahren aufgetragen wird),
- Absaugen (lediglich zur Entfernung lose aufsitzender Partikel).

Ziel ist es, durch die Auswahl geeigneter Arbeitsverfahren, die Staub- und Sporenfreisetzung bei der Sanierung möglichst gering zu halten. In der Regel erweist sich aus der Praxissicht eine Kombination verschiedener Verfahren als erfolgreich. Es sei darauf hingewiesen, dass abrasive Verfahren nur in zugänglichen Bereichen den Schimmelbefall entfernen können, jedoch nur eingeschränkt oder gar nicht in Knotenpunkten etc.

Die nachfolgende Tabelle 36 nennt zusammenfassend mögliche Sanierungsverfahren zur Entfernung von Schimmel auf Holz.

Tabelle 36 ■ Eignung oberflächenbezogener Sanierungsverfahren zur Schimmelpilzentfernung von verschiedenen Materialien; aus DHBV-Merkblatt 02/15/S [37]

Sanierungs-verfahren	massives Holz		Eignung für:			
	sägerau	glatt	Furnier-platten	OSB-Platten	Span-platten	Weich-faser-platten
Abbeilen	geeignet	geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Hobeln	geeignet	geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Strahlen	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Schleifen	geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	geeignet	bedingt geeignet
Abbürsten	bedingt geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	geeignet
Abwaschen	bedingt geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
Latex-reinigung	nicht geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet
Absaugen	bedingt geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet

Nach der Schimmelbeseitigungsmaßnahme erfolgt immer eine sorgfältige Feinreinigung. Es muss sichergestellt werden, dass alle mikrobiell belasteten Stäube entfernt werden.

Nach der Sanierung ist nachzuweisen, dass diese erfolgreich war. Das heißt, der Schimmelbefall wurde gründlich entfernt. Um nachzuweisen, dass mikrobielle Stäube tatsächlich entfernt wurden, eignen sich zum Beispiel spezielle Gesamtpartikelmessungen (in Verbindung mit der Außenluft) und gegebenenfalls zusätzlich Klebefilmproben.

4.1.2 Belastung von OSB-Platten durch Kollektorflüssigkeit

Situation

Infolge von Undichtigkeiten an einer Solaranlage war es zum Eintrag von rosa-farbener Glykolflüssigkeit in OSB-Platten gekommen (Bild 193). Es handelte sich um einen Raum im Dachgeschoss eines neu errichteten Einfamilienhauses, das kombiniert als Haustechnikraum und Wohnfläche genutzt wurde.

Der Eintrag von Propylenglykol hatte zu keinem technischen oder biotischen Schaden am Holzwerkstoff geführt. Es wurde jedoch infolge der ausgelaufenen Glykolflüssigkeit eine starke Belastung der Raumluft mit Glykol vermutet und die Erneuerung der OSB-Platten gefordert.

Anhand einer durchgeföhrten Raumluftmessung im Dachgeschoss konnten geringe Mengen an Propylenglykol festgestellt werden. Der Gehalt betrug $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Eine ergänzende Materialuntersuchung an den OSB-Platten ergab einen Gehalt von $4600 \text{ mg}/\text{kg}$ Propylenglykol.



Bild 193 ■ Sichtbare Feuchteränder auf der OSB-Platte infolge von Glykoleintrag

Bewertung

Propylenglykol ist ein VOC (Volatile Organic Compounds) und damit leicht flüchtig. Glykole klingen aber nur langsam ab. Die Abdampfdynamik für das in den Holzbaustoff eingedrungene Propylenglykol ist ausgesprochen langsam und verbleibt lange auf einem einheitlichen Niveau. Im Vergleich zu Lösemitteln wird es Jahre dauern bis die Konzentration sinkt. Oft reicht eine geringe Menge aus, um ein Unwohlsein bei Bewohnern zu erzeugen.

Da Glykol nicht in den Holzbaustoff gehört, sollten Maßnahmen zu seiner Reduzierung ergriffen werden, wenngleich der ermittelte Raumluftmesswert unterhalb des NIK-Werts zur gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen lag (NIK = Niedrigste Interessierende Konzentration). Ein Austausch der Glykol beanspruchten OSB-Platten war daher unter dem Vorsorgegebot zur Reduzierung von VOC zu empfehlen. Die Gesamtbelastung an Glykol wurde dadurch im Raum gesenkt.

Stellungnahme

Propylenglykol ist eine klare, farblose, nahezu geruchlose und stark hygroskopische Flüssigkeit. Für den technischen Bereich wird es mit Wasser gemischt als Wärmeträgermedium in der Solarthermie oder in Kühlanlagen verwendet. Propylenglykol wird jedoch auch in Lösemitteln und in Hygieneartikeln (Hautcreme, Zahnpasta, Deos) eingesetzt und ist sogar als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen (E 1520).

Die Ergebnisse der Raumluftmessung zeigten, dass kaum Glykol, dafür aber in größerer Menge andere Komponenten (Essigsäure, Siloxane, Terpene sowie aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe) nachweisbar waren. Auch wurden in geringer Menge Kohlenhydrate (Saccharide) sowie verschiedene Aldehyde und Alkohole festgestellt. Die Materialuntersuchung der OSB-Platten zeigte, dass der Gehalt an Terpenen höher ist, als der an Propylenglykol.

Da es sich um einen Neubau mit einer Vielzahl von Baustoffen und Produkten handelt, ist eine Vielfalt an chemischen Verbindungen nicht ungewöhnlich. In jeder Innenraumluft findet man eine große Anzahl an leicht-, mittel- und schwerflüchtigen organischen Verbindungen. Das Vorkommen von Terpenen ist normal. Sie sind in Pflanzen als Bestandteil von Harzen, ätherischen Ölen und Farbstoffen vorkommend. Zum Beispiel ist das Terpen Alpha-Pinen im Terpentinöl der einheimischen Kiefer in großer Menge vorhanden.

Im Hinblick auf eine Belastung der Innenraumluft durch flüchtige organische Verbindungen (VOC) hat das Umweltbundesamt eine Bewertung für Bauprodukte erarbeitet. In einem Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) wurden Prüfkriterien erarbeitet und daraus ein Bewertungsschema für VOC-Emissionen aus innenraumrelevanten Bauprodukten entwickelt [60].

Als Bewertungsmaßstab für die gesundheitsbezogene Qualitätsbewertung der Emissionen von Bauprodukten dienen NIK-Werte. Unter NIK wird die niedrigste interessierende Konzentration verstanden. Es handelt sich um eine Einzelstoffbewertung bei der Produkt-Emissionsprüfung auf der Basis von Prüfkammermessungen. Im Hinblick auf das von Bauprodukten in Innenräumen erzeugte Vielstoffgemisch stellen die NIK-Werte aufgrund ihrer Herleitung und Anwendung eine adäquate Konkretisierung der baurechtlich geforderten Kriterien zur Abwehr von Gesundheitsgefahren durch flüchtige organische Verbindungen dar. Die NIK-Werte orientieren sich an der Datenlage zu dem jeweiligen Stoff bezüglich seiner Toxizität unter Berücksichtigung eines Auftretens in Innenräumen mit entsprechendem dauerhaften Aufenthalt von Personen.

Für Propylenglykol beträgt der NIK-Wert nach dem AgBB-Bewertungsschema 2 100 µg/m³. Der mittels Raumluftmessung ermittelte Wert von 64 µg/m³ lag damit deutlich unterhalb des NIK-Werts. Eine Gesundheitsgefahr war nicht gegeben.

Weiteres Datenmaterial für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft veröffentlicht die Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V., sogenannte AGÖF-Orientierungswerte. Für Propylenglykol werden als Normalwert (durchschnittliche Belastungssituation) 2,0 µg/m³ benannt und als Auffälligkeitswert 14,4 µg/m³ [61]. Der Auffälligkeitswert entspricht dem 90. Perzentil. Er beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und deutet damit auf die Existenz einer entsprechenden Emissionsquelle hin. Der ermittelte Messwert zeigt damit an, dass eine Emissionsquelle vorhanden war.

4.1.3 Hausschwammbefall und deren alternative Bekämpfung

Situation

In einem denkmalgeschützten Gebäude wurde ein Befall durch den Echten Hausschwamm am Dachstuhl festgestellt. Die Holzsubstanz war weitgehend biotisch abgebaut und das historische Mauerwerk war stark von Myzel und Strängen des Pilzes durchwachsen (Bild 194 und Bild 195). Zusätzlich bestanden Insektenschäden.

Aus denkmalpflegerischer Sicht bestand die Anforderung des maximalen Substanzerhalts. Zugleich sollte auf die Anwendung von Schwammsperrmittel als Biozidprodukt am Mauerwerk aus ökologischen Gründen verzichtet werden.



Bild 194 ■ Durch den Pilz zerstörte Holzbauteile des Dachstuhls



Bild 195 ■ Von Pilzmyzel überwuchertes Mauerwerk

Ursache

Ursache für den Hausschwammbefall war eine über längerer Zeit unzuträgliche Feuchtebelastung anhand von Undichtigkeiten in der Dachhaut. Durch die fehlende Luftumspülung der Bauteile konnte die eingedrungene Feuchte nur schwer austrocknen. Der Anflug oder bereits vorhandene Pilzsporen haben zur Auskeimung und Entwicklung des Pilzes geführt.

Stellungnahme

Nach der Regelsanierung ist bei Befall durch Echten Hausschwamm das durch den Pilz befallene Holz auszubauen und das von Myzel und Strängen durchwachsene Mauerwerk mit Schwammsperrmittel zu behandeln. Dabei sind Sicherheitszuschläge einzuhalten. Diese betragen nach DIN 68800-4 bei Holz 1,00 m und bei Mauerwerk 1,50 m über den letzten sichtbaren Befallsbereich hinaus [40]. Zugleich sind umfängliche Vorarbeiten notwendig.

Im denkmalpflegerischen Bereich soll historische Substanz möglichst erhalten bleiben. Durch die Anwendung des Heißluftverfahrens wird eine substanzschonende Bekämpfung des Echten Hausschwamms unter bestimmten Bedingungen möglich. Zugleich kann auf chemische Mittel verzichtet werden.

Das Heißluftverfahren ist nicht losgelöst von der Regelsanierung zu betrachten, sondern eine zu integrierende Maßnahme im Gesamtkonzept. Es ist nur beim Echten Hausschwamm und dem Wilden Hausschwamm wegen der niedrigen letalen Temperatur einsetzbar und auf andere Pilze nicht übertragbar.

Grundsätzlich ist das Verfahren auf die objektspezifischen baulichen und örtlichen Gegebenheiten abzustimmen. Das Heißluftverfahren ist kein Standard-

verfahren. Es bestehen hohe Anforderungen an Planung und Ausführung. Ein erhöhter Überwachungsaufwand ist während der Heißluftbehandlung notwendig.

Wie bei der Regelsanierung ist auch beim Heißluftverfahren unerlässliche Voraussetzung, die Ursache erhöhter Feuchte nachhaltig zu beseitigen. Zugleich lässt sich feuchtes Mauerwerk nicht oder nur sehr schwer aufheizen.

Folgende Regeln sind nach DIN 68800-4 bei der Durchführung des Heißluftverfahrens gegen Echten Hausschwamm einzuhalten [40] :

- letale Wärmedosis von 16 Stunden bei 50 °C oder 8 Stunden bei 55 °C oder 2 Stunden bei 60 °C zur Abtötung des Pilzmyzels,
- die zu behandelnden Bereiche sind einzuhäusen (Bild 196),
- für Mauerwerk bestehen erheblich längere Aufheizzeiten als für Holz, deshalb ist Mauerwerk zweiseitig zu beheizen,
- während der gesamten Heißluftbehandlung wird die Bauteiltemperatur und die Raumlufttemperatur durchgängig durch Messung kontrolliert, gegebenenfalls sind zusätzliche Kontrollproben von im Labor gezüchteten Pilzmyzel einzusetzen (Bild 197),
- Durchführung nachfolgender Kontrollbegehungen in angemessenen Zeitabständen auf Anzeichen für ein erneutes Auswachsen des Pilzes.

Für eine kleinflächige Behandlung wäre alternativ auch der Einsatz einer Mikrowelle möglich, wenn eine gleichmäßige Erwärmung über den gesamten Bauteilquerschnitt erzielt werden kann (Bild 198).



Bild 196 ■ Einhausung mit Einblasrohren für die Heißluftbehandlung



Bild 197 ■ Temperaturmesspunkt in der zu behandelnden Wandfläche mit integrierter Myzelprobe für die Erfolgskontrolle



Bild 198 ■ Mikrowelle zur thermischen Behandlung, hier an Deckenbalken aus der Renaissance

4.1.4 Aktiver Befall durch den Hausbockkäfer

Situation

Im Dachstuhl eines Gründerzeithauses wurde ein lebender Befall durch den Hausbockkäfer am Dachverbandholz, der Dielung und den Deckenbalken durch den Fund von lebenden Larven, hellfarbigen Bohrmehlhäufchen auf waagerechten Flächen und Rieselsspuren detektiert (Bild 199 bis Bild 199). Für das verbaute Holz wurde Nadelholz mit hohem Splintholzanteil verwendet.



Bild 199 ▪ Ausgeworfenes Bohrmehl auf der Dielung infolge von Larvenaktivität



Bild 200 ▪ Vollständig zerfressene Holzsubstanz unterhalb der visuell intakt erscheinenden Holzoberfläche



Bild 201 ▪ Rieselspuren als Indiz für einen Lebendbefall, sofern diese nicht auf Erschütterungen zurückzuführen sind

Ursache

Die Ursache für den Befall wird in einem unkontrollierten Einflug des Käfers in den gründerzeitlichen Dachstuhl und der Eiablage am Holz gesehen. Der hohe Splintholzanteil der verbauten Hölzer bietet eine gute Nahrungsgrundlage für die Käferentwicklung. Die Holzoberfläche wird vom Insekt unversehrt belassen. Damit wird eine schnelle Erkennbarkeit des Befalls eingeschränkt.

Stellungnahme

Auch wenn es sich um alte Holzsubstanz mit geringerer Lockwirkung durch ätherische Öle im Vergleich zu frischem Holz handelt, ist ein Befall durch den Hausbockkäfer möglich. Die Weibchen legen im Zeitraum Juni bis August Eier in mehreren Gelegen in Spalten und Risse des Holzes ab. Dabei werden hohe Stückzahlen von Eiern in wenigen Eigelegen abgelegt [41].

Die Wachstumsgeschwindigkeit der Larven ist stark vom Eiweißgehalt des Holzes abhängig. Die Larven bevorzugen den eiweißreichen rindennahen Splintholzbereich. Kernholz kann von den Käferlarven nicht verwertet werden. Daher kann durch Verwendung von splintfreiem Kernholz einem Befall durch diesen Holzzerstörer grundsätzlich vorgebeugt werden (z. B. Kiefern kernholz).

Zur Bekämpfung des Insekts kommen mehrere Methoden in Betracht. Das befallene Holz kann ausgebaut werden oder es werden bekämpfende Holzschutzmittel angewendet oder es wird das Heißluft- oder ein Begasungsverfahren durchgeführt. Üblich ist die Anwendung des Heißluftverfahrens. Das Heißluftverfahren basiert auf dem Prinzip der Insektenabtötung bei 55 °C Holztemperatur im temperaturungünstigsten Profilpunkt des Holzes bei einer Einwirkdauer dieser Temperatur von mindestens einer Stunde [42]. Zur Abtötungskontrolle empfiehlt es sich während der thermischen Maßnahme Kontrollkörper mit lebenden Larven der jeweiligen holzzerstörenden Art einzusetzen und mit zu behandeln. Die Kontrolle zum Nachweis des Abtötungserfolgs sollte durch entsprechende Spezialisten erfolgen.

4.2 Verformungen und Risse

4.2.1 Verformung und Fugenbildung am Blockhaus

Situation

In den Räumen eines Studios wurden als exklusive Innenausstattung Holzhäuser (Chalets) in Blockbauweise errichtet. Die Chalets waren keiner Wittringung ausgesetzt und befanden sich innerhalb einer beheizten Gebäudehülle mit circa 24 bis 26 °C Raumlufttemperatur. Verwendet wurde Fichtenholz in Konstruktionsvollholz-Qualität. Kurz nach Errichtung der Indoor-Chalets wurde eine Fugenbildung zwischen den Blockbohlen und eine deutliche Verformung an den Eckverbänden festgestellt (Bild 202).



Bild 202 ▪ Verformte Blockbohlen im Bereich des Eckverbandes und Fugenbildung

Ursache

Ursache für die Verformungen und Fugenbildungen war die Nichtbeachtung der sich einstellenden Gleichgewichtsfeuchte in den Räumen. Zugleich wurden die Bohlen der Blockhäuser nicht wechselseitig zwischen linker und rechter Seite verlegt.

Um Fugen zu verhindern, hätte eine zusätzliche Trocknung des verarbeiteten Holzes auf circa 10 % Holzfeuchte vereinbart werden müssen, weil die übliche Holzfeuchte für das verwendete Konstruktionsvollholz $15\% \pm 3\%$ beträgt. Das Konstruktionsvollholz war nach der Errichtung der Chalets auf seine Gleichgewichtsfeuchte entsprechend dem bestehenden Umgebungsklima

nachgetrocknet. Durch das Abtrocknen des Holzes war es zur Fugenbildung und Verformung infolge von Schwinden gekommen.

Stellungnahme

Eine Holzfeuchte von ungefähr 10 % kann im vorliegenden Fall als langfristig vorherrschender Holzfeuchtwert für die Indoor-Chalets angesehen werden. Aufgrund seiner Hygroskopizität passt sich Holz dem umgebenden Raumklima jeweils an. Es besteht eine Abhängigkeit zwischen dem Raumklima und dem sich im Holz einstellenden Feuchtegehalt (Tabelle 2). Luftfeuchte und Temperatur beeinflussen die Gleichgewichtsfeuchte. Bei 50 % relativer Luftfeuchte und 20°C beträgt die Holzgleichgewichtsfeuchte für Fichte 9,2 % (siehe Tabelle 2).

Im vorliegenden Fall wurden die Blockhäuser unter Verwendung von Konstruktionsvollholz (KVI) errichtet. Dieses Holz besitzt eine Holzfeuchte zum Lieferzeitpunkt von $15\% \pm 3\%$, also maximal 18 %.

Mit dem allmählichen Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte unter den klimatischen Bedingungen des Studios trocknete das Holz auf eine Holzfeuchte von circa 10 % als langfristig zu erwartende Gleichgewichtsfeuchte ab. Dies entspricht einer Holzfeuchteänderung Δu von 8 % ($18\% - 10\% = 8\%$).

Mit der Holztrocknung sind Schwindbestrebungen verbunden. Diese Trocknung führt zur Volumenverringerung. Die nachfolgende Berechnung dokumentiert die Veränderung in den Querschnittsabmaßen eines Holzbauteils bei Trocknung. Die bestellte Dimension der Bohlen für die Chalets betrug $h/b = 16/8$ cm.

Holzfeuchteänderung:

Holzliefeffeuchte zum Einbau maximal 18 %

Holzfeuchte im bestehenden Nutzungszustand: circa 10 %

→ Die Holzfeuchteänderung beträgt 8 %.

Berechnungsformel:

$$\Delta b \text{ bzw. } \Delta h = \Delta u \cdot V \cdot b \text{ bzw. } h/100\%$$

Δu = Holzfeuchteänderung

V = differentielles Schwindmaß nach DIN EN 1995-1-1/NA [8]

Dimensionsveränderung:

Kantholzhöhe h : 16 cm

Höhe: $\Delta h = 8\% \cdot 0,25\%/\% \cdot 160 \text{ mm}/100\%$

$$\Delta h = 3,2 \text{ mm}$$

Kantholzbreite b: 8 cm

Breite: $\Delta b = 8 \% \cdot 0,25 \% / \% \cdot 80 \text{ mm} / 100 \% = 1,6 \text{ mm}$

→ Bei der Trocknung von Kantholz (Fichte) der Dimension 16/8 cm mit 18 % Ausgangsfeuchte auf eine Endfeuchte von 10 % reduziert sich der Kantholzquerschnitt auf h/b = 12,8/6,4 cm.

Bei einer üblichen Lieferfeuchte für Konstruktionsvollholz (KVH) war damit eine Fugenbildung unter den gegebenen klimatischen Bedingungen zu erwarten.

Die Dimensionsänderung bei Feuchteschwankungen ist naturgemäß und eine Holzeigenschaft. Sie hat nichts mit minderwertigem Holz zu tun. Konstruktionsvollholz (KVH) ist hochwertiges Bauschnittholz, bei dem durch die gezielte Art des Einschnitts, verschärfte Sortierkriterien und die technische Trocknung des Holzes, Maßgenauigkeit und Formstabilität erzielt werden. KVH ist Zimmererware für die Errichtung von Carports, Dachstühlen etc., aber keine übliche Tischlerware für die Anfertigung von Möbeln, Verkleidungen etc.

Um Querschnittsreduzierungen durch Schwinden des Holzes auf die örtlich konkret bestehende Umgebungsfeuchte zu vermeiden, soll Holz mit der Feuchte eingebaut werden, die langfristig im Nutzungszustand zu erwarten ist. Im vorliegenden Fall wären dies rund 10 % Holzfeuchte gewesen. Das heißt, um zu verhindern, dass Fugen entstehen, hätte das verwendete Vollholz für die Chalets auf eine Feuchte von 10 % getrocknet werden müssen.

Für das eingesetzte KVH als Vollholz ist eine Trocknung auf 10 % Holzfeuchte nicht als üblich anzusehen, da es auf $15 \pm 3 \%$ bereits technisch getrocknet wurde (Bauholz) und für Dachstühle mit minimal 12 % und maximal 18 % Feuchtegehalt ausreichend ist.

Um Konstruktionsvollholz auf 10 % herunter zu trocknen, wäre ein zusätzlicher Trocknungsvorgang in einer technischen Trocknungsanlage vonnöten, oder man lagert das Holz solange unter den zukünftigen Klimabedingungen, bis sich die jeweilige Gleichgewichtsfeuchte eingestellt hat. Der Sachverhalt der Holzfeuchte im Einbauzustand sollte daher immer Inhalt eines Beratungsgesprächs sein. Die im Zimmererbereich übliche DIN 68365 [45] weist auch darauf hin, dass die Holzfeuchte vom jeweiligen Verwendungszweck abhängt und gesondert zu vereinbaren ist.

Im Zimmererbereich ist eine technische Trocknung von Bauholz auf 10 % möglich, aber als gesonderte Vereinbarung zu sehen. Erst durch Verwendung von beispielsweise Brettschichtholz, wäre trockeneres Holz geliefert worden. Bei der Brettschichtholzherstellung werden die zur Herstellung verwendeten

Nadelholzbretter vor der Verklebung zu Lamellen auf etwa 11 % Holzfeuchte getrocknet und anschließend gehobelt. Damit hat Brettschichtholz bereits eine Holzfeuchte, die in etwa der Gleichgewichtsfeuchte im eingebauten Zustand entspricht und kaum nachschwindet.

Die im Eckverband teilweise erheblichen Verformungen wären zusätzlich zum Holzfeuchteaspekt konstruktiv reduzierbar gewesen, wenn zwischen jeder Bohle ein Wechsel zwischen rechter und linker Holzseite erfolgt wäre.

4.2.2 Faserstauchungen am Dachstuhlholz

Situation

An einem neu errichteten Dachstuhl aus Konstruktionsvollholz wurden an mehreren Sparren Stauchungen festgestellt (Bild 203). Um die Situation zu überprüfen, wurde ein Bohrkern entnommen und mikroskopisch untersucht.

Ursache

Faserstauchungen und Faserbrüche sind auf eine starke Belastung des Baums zum Beispiel durch Sturm, Schnee oder Eis zurückzuführen. Die festgestellten Stauchungen waren bei der Holzsortierung offensichtlich nicht aufgefallen.

Stellungnahme

Die Untersuchung des Bohrkerns hat Folgendes ergeben:

- Auf der Bohrkernoberseite ist eine stauchfaltenartige Fehlstelle erkennbar. Diese Fehlstelle geht durch die gesamte Tiefe des Bohrkerns und ist auch noch auf der Bohrkernrückseite als 4 bis 7 mm breites, streifiges Band erkennbar.
- Nach Auftrennen des Bohrkerns und Glattschliff der Längsfläche ist eine etwa 7 mm breite Stauchfaltenzone erkennbar; sie verläuft quer zur Faserrichtung (Bild 204).
- Nach Auftrennen des Bohrkerns im Bereich der Stauchfaltenzone und Schleifen des Holzquerschnitts sind zahlreiche kurze, schmale radial und tangential verlaufende Risse im Holz erkennbar (Bild 205).
- Auch in den angefertigten Holzdünnnschnitten sind innerhalb der Stauchfaltenzone kurze, schmale Risse im Holz zu erkennen. Bei stärkeren Vergrößerungen sind auch zahlreiche Stauch- beziehungsweise Quetschlinien innerhalb der Holzfasern (Tracheiden) zu erkennen (Bild 206 und Bild 207).



Bild 203 ■ Sichtbare Faserstauchung am Sparren

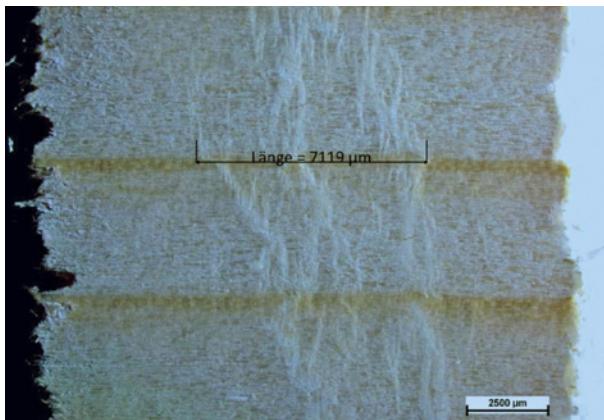


Bild 204 ■ Stauchfaltenzone etwa 7 mm breit, senkrecht zur Faserrichtung; M. 7,5:1 (Foto: Björn Weiß, Dresden)

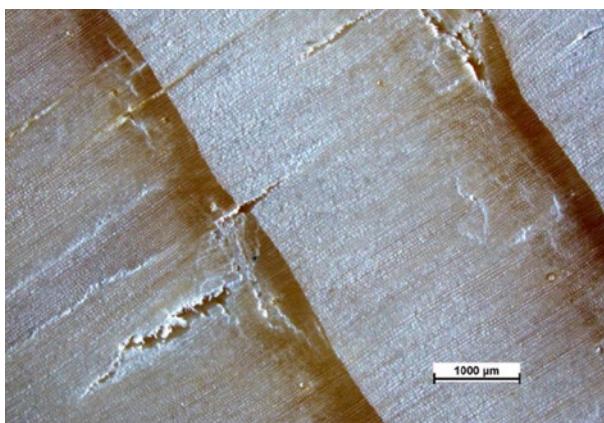


Bild 205 ■ Holzquerschnitt: feine tangentiale und radiale Risse im Stauchfaltenbereich; M. 10:1 (Foto: Björn Weiß, Dresden)

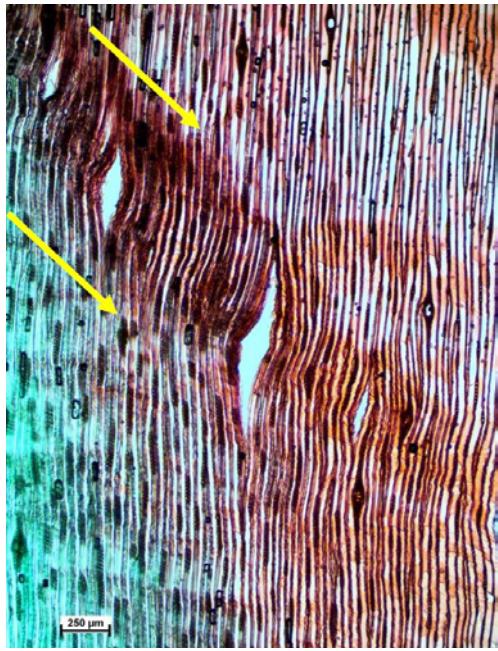


Bild 206 ■ Dünnchnitt, tangential:
schräg verlaufende Stauchfaltenzone
mit Rissen im Holz; M. 40:1 (Foto:
Björn Weiß, Dresden)

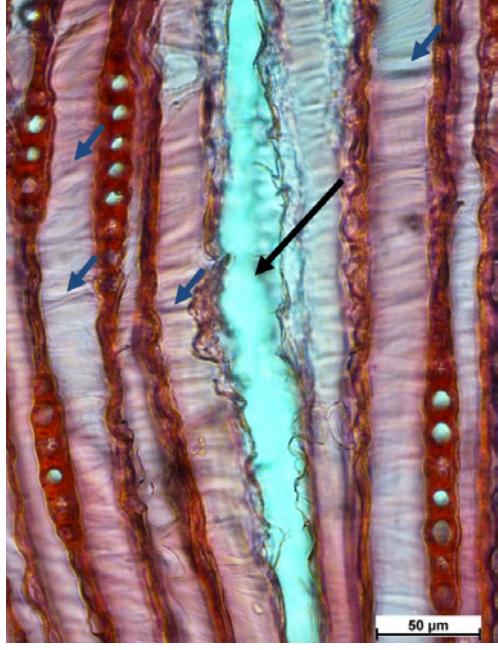


Bild 207 ■ Dünnchnitt durch die
Stauchfaltenzone: Stauchlinien quer
in den Tracheiden und Risse im Holz;
M. 400:1 (Foto: Björn Weiß, Dresden)

Stauchbrüche sind durch Erreichen der Druckfestigkeit des Holzes erzeugte Brüche, die quer zur Faserrichtung des Holzes verlaufen. Sie können bereits im stehenden Stamm durch lokal begrenzte mechanische Überbeanspruchung auftreten. Der Gefahr, dass bei heftiger Biegung des Baumes Druckspannungen im äußereren Stammbereich zu Stauchbrüchen führen, wirken die von Natur aus dort vorliegenden Zugspannungen entgegen. Trotzdem können insbesondere an Nadelhölzern solche Schäden auftreten. Erfahrungsgemäß lassen sich Stauchbrüche am stehenden Stamm beziehungsweise am Rundholz durch wulstartige Verdickungen erkennen ([50] [51] [52]).

Ob Windbruch oder ein anderes Ereignis vorlag, ließ sich im vorliegenden Fall nicht sicher zuordnen. Von Windbruch spricht man erst, wenn Bäume mit den Wurzeln herausgerissen werden und Stämme abbrechen.

Faserstauchungen, die bereits an den ungehobelten Holzoberflächen sichtbar sind, und Stauchbrüche beeinträchtigen die Holzfestigkeit. In der Regel sind solche Hölzer als Bauholz nicht mehr geeignet.

4.2.3 Schüsseln von Holzdielen

Situation

Nach einem Wasserschaden mit anschließender technischer Trocknung wurden 20 mm dicke Massivholzdielen aus Eiche als Fußbodenbelag verlegt. Nach relativ kurzer Zeit war es zur konkaven Schüsselung der Dielen gekommen (Bild 208).

Gemäß Datenlage wurden die Dielen im geschliffenen Zustand erworben und nach der Verlegung bauseitig geölt.

Ursache

Die Schüsselung war die Folge der unterschiedlichen Ausdehnung von Dielenunter- und Dielenoberseite. Die Konkavseite (eingewölbte Seite) war in der Breite gegenüber dem Herstellungszustand geschrumpft. Die Ursache für eine unterschiedliche Ausdehnung von Holzfußbodenober- und -unterseite und damit für die Schüsselung ist im Wesentlichen die einseitige Einwirkung von Quellmittel, im vorliegenden Fall von Wasser als Restfeuchte aus dem Wasserschaden.



Bild 208 ■ Konkave Schüsselung der Diele

Stellungnahme

Die konkave Verformung einzelner Dielen (»schüsseln«) ist zu bemängeln. Die Konkavschüsselung wurde durch Quellmitteleinwirkung von unten hervorgerufen. Damit war flüssiges Wasser durch das Wasserschadenereignis wahrscheinlich.

Ein noch zu feuchter Estrich führt von der Unterseite her zur Auffeuchtung der Verlegeelemente und lässt nach einigen Tagen bis Wochen (in Abhängigkeit von der Holzfußbodenart und der Estrichfeuchte) eine Konkavschüsselung auftreten. Andersherum führt eine Quellmitteleinwirkung von oben (zum Beispiel durch Wassereinwirkung auf der Holzoberfläche) zu einer Konvexschüsselung.

Die Holzfußboden norm für massive Laubholzdielen DIN EN 13629 [57] formuliert: »Der Ziel-Feuchtegehalt muss bei der Erstauslieferung des Produkts zwischen 6 % und 12 % nach EN 14298 aufweisen«.

Bei Ware aus dem Fachhandel ist davon auszugehen, dass durch den Hersteller eine Holzfeuchtigkeit der Dielenelemente von 9 % ($\pm 2\%$) garantiert wird. Durch den Verleger müssen die Dielen vor der Verlegung mindestens 48 Stunden ungeöffnet bei geeignetem Raumklima (ca. 20 bis 22 °C auf ebenem Untergrund) akklimatisiert werden.

4.2.4 Risse im Fliesenbelag auf einer Holzbalkendecke

Situation

Im Badezimmer eines Einfamilien-Holzwohnhauses von 1937 war es nach erfolgter Badsanierung zu Rissbildungen im großformatigen Fliesenbelag (60×30 cm) des Fußbodens gekommen (Bild 209 und Bild 210).

Es handelte sich um auffällige Rissstrukturen. Im Rissverlauf war es zu Fußbodenabsenkungen gekommen. Die Risse waren in der keramischen Fliese und im Fugennetz vorhanden. Teilweise bestand ein Höhenversatz und Fugenmörtel zwischen den Fliesen war herausgefallen. Die Rissflanken waren durch Abplatzungen gekennzeichnet.

Das Badezimmer befand sich im ersten Obergeschoss des Wohnhauses. Die Fußbodensanierung wurde bereits zweimal ohne Erfolg durchgeführt.

Ursache

Der nachträgliche Fußbodenaufbau war auf einer nicht tauglichen Unterkonstruktion erfolgt. Die statische Untersuchung der bauzeitlichen Holzbalkendecke zeigte, dass der Fußbodenaufbau zu Überschreitungen der Tragfähigkeit (2 %) und der Gebrauchstauglichkeit (19 %) führt. Maßgebend für das Schadenbild waren die Verformungen (Gebrauchstauglichkeit).

Stellungnahme

Bedingt durch die Rissbildung war der Fußbodenaufbau zu erneuern. Die Rissbildungen beeinträchtigten Gebrauchstauglichkeit und Optik. Über die Risse kann im Badezimmer zudem unkontrolliert Feuchtigkeit in die Konstruktion eindringen. Zugleich bestand durch die Abplatzungen an den Rissflanken der Fliesen eine Verletzungsgefahr beim Barfußlaufen. Ferner war bei der vorliegenden Situation davon auszugehen, dass sich das Schadenbild weiter ausweiten wird, da die Verformungen zu groß waren.

Bedingt durch die unzuträglichen Verformungen, die von einem starren Belag nicht aufgenommen werden können, und die Tragfähigkeitsüberschreitung durch Überschreitung der Biegespannung war eine Verstärkung der Decke notwendig. Die Decke war zu verstehen.

Eine Verstärkung wäre durch eine beidseitige Anordnung seitlicher Bohlen (Laschen), die zugleich als Höhenausgleich dienen können, möglich. Dazu ist der gesamte Fußbodenaufbau bis zu den Deckenbalken aufzunehmen.

Generell wird bei Holzbalkendecken als Oberbodenbelag die Verwendung von Fliesen kleinerer Formate empfohlen. Verschiedene Hersteller begrenzen bei Trittschalldämm- und Entkopplungsmatten zur Lastenverteilung keramischer Beläge auch die Formate. Der Fußbodenaufbau auf Holzbalkendecken bedarf damit zwingend einer fachgerechten Planung.



Bild 209 ■ Rissbildung im verlegten Fliesenbelag auf der Holzbalkendecke

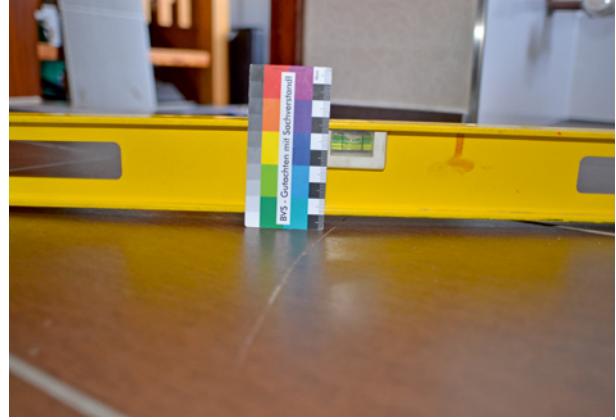


Bild 210 ■ Absenkung des Fußbodens im Rissbereich

Danksagung

Rückblickend kann ich jetzt sagen, die Arbeit an der 2. Auflage dieses Buchs hat mir viel Freude bereitet. Natürlich hat das Projekt Zeit gefordert und war manchmal auch etwas nervig, gerade wenn längere Zeitabschnitte zwischen den einzelnen Arbeitsphasen lagen. Mit vielen Ideen, manchmal auch Kritik und Aufmunterung, hat mich meine Frau Vera vom Anfang bis zum Ende des Buches begleitet. Ich bin Ihr sehr dankbar dafür.

Dankbar bin ich auch dem Team des Fraunhofer IRB Verlages. Besonders für die Geduld die man mit mir aufgebracht hat. Die stets freundliche und angenehme Zusammenarbeit mit Frau Neuwald-Burg und Herrn Altmann sind Motivation und Ansporn zugleich.

Ein großes Dankeschön gebührt meinem verehrten Kollegen und Freund Herrn Prof. Björn Weiß vom Institut für Holztechnologie Dresden. Er ist ein wahrer Fachmann in allen Holzfragen. Durch seine ruhige und zuvorkommende Art ist es immer sehr angenehm mit ihm zu arbeiten. Zahlreiche Fotos hat er dieser Auflage beigesteuert.

Ich kann mich glücklich schätzen, an zwei kompetenten Bildungseinrichtungen als Dozent seit Jahren tätig zu sein: am Europäischen Institut für postgraduale Bildung in Dresden und an der Deutschen Immobilien-Akademie an der Universität Freiburg. Der hohe Anspruch an Bildung und Lehre, der hier konsequent umgesetzt wird, ist ein Glück für unsere Gesellschaft und alle die sich weiterbilden wollen. Es ist schön, mit so engagierten Kollegen zusammen arbeiten zu dürfen.

Literaturverzeichnis

- [1] Lohmann, U.: Holz-Lexikon. 4. Aufl. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., 2003
- [2] DIN EN 13183-1:2002-07. Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-1:2002
- [3] Holzbau Deutschland; Bund Deutscher Zimmermeister (Hrsg.): Vereinbarung über KVH® Konstruktionsvollholz aus Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie. September 2015
- [4] DIN 68800-1:2019-06 Holzschutz – Teil 1: Allgemeines
- [5] Keylwerth, R.; Noack, D.: Die Kamertrocknung von Schnittholz. Betriebsblatt 1, Neufassung. In: Holz als Roh- und Werkstoff (1964), Nr. 1, S. 29–36
- [6] Keylwerth, R.: Praxis und Fortschritte der Holztrocknung. In: Holz als Roh- und Werkstoff (1966), Nr. 5, S. 205–212
- [7] Keylwerth, R.: Praktische Untersuchungen zum Holzfeuchtigkeits-Gleichgewicht. In: Holz als Roh- und Werkstoff (1969), Nr. 8, S. 285–290
- [8] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [9] Lißner, K.; Rug, W.: Der Eurocode für Deutschland. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Kommentierte Fassung. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., 2016
- [10] DIN EN 350:2016-12 Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff; Deutsche Fassung EN 350:2016
- [11] DIN 68100:2010-07 Toleranzsystem für Holzbe- und -verarbeitung – Begriffe, Toleranzreihen, Schwind- und Quellmaße
- [12] Kollmann, F.: Technologie des Holzes. Berlin: Verlag Julius Springer, 1936
- [13] DIN 4074-1:2012-06 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadel-schnittholz
- [14] DIN 4074-5:2008-12 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 5: Laubschnittholz
- [15] Scheiding, W.: Modifizierung und Hydrophobierung von Holz. In: Scheiding et al.: Holzschutz. Holzkunde – Pilze und Insekten – Konstruktive und chemische Maßnahmen – Technische Regeln – Praxiswissen. 2. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2016
- [16] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV). Bundesgesetzblatt (2002), Nr. 59, S. 3302
- [17] DIN CEN/TS 15679:2008-03 Thermisch modifiziertes Holz – Definitionen und Eigenschaften; Deutsche Fassung CEN/TS 15679:2007
- [18] Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI; Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (Hrsg.): Informationsdienst Holz Spezial – Sperrholz (2008)
- [19] Weiß, B.; Wagenführ, A.; Kruse, K.: Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen. Leinfelden-Echterdingen: DRW Verlag Weinbrenner GmbH & Co., 2000

- [20] Weiß, B.: Holzzerstörende und holzverfärbende Pilze und Mikroorganismen. In: Scheiding et al. (Hrsg.): Holzschutz. Holzkunde – Pilze und Insekten – Konstruktive und chemische Maßnahmen – Technische Regeln – Praxiswissen. 2. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2016
- [21] Huckfeldt, T.; Schmidt, O.: Hausfäule- und Bauholzpilze. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2006
- [22] Haustein, T.; Haustein, V.H.: Holzzerstörende Insekten und Meerestiere. In: Scheiding et al. (Hrsg.): Holzschutz. Holzkunde – Pilze und Insekten – Konstruktive und chemische Maßnahmen – Technische Regeln – Praxiswissen. 2. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2016
- [23] Noldt, U.: Schäden durch Insekten. In: Huckfeldt, T., Wenk, H.-J. (Hrsg.): Holzfenster – Konstruktion, Schäden, Sanierung, Wartung. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2009
- [24] DIN EN 1995-1-1:2010-12 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008
- [25] DIN 68800-2:2012-02 Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- [26] DIN 68800-3:2020-03 Holzschutz – Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln
- [27] Holzbau Deutschland-Institut e.V. (Hrsg.): Informationsdienst Holz: Holzbau Handbuch, Reihe 3: Flachdächer in Holzbauweise
- [28] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (Hrsg.): Holzschutz: Praxiskommentar zu DIN 68800 Teile 1 bis 4. 2., vollst. überarb. Aufl. Berlin: Beuth-Verlag, 2013
- [29] Oswald, R.; Zöller, M.; Spilker, R.; Sous, S. (2014): Zuverlässigkeit von Holzdachkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- und Decklage. Abschlussbericht 03/2014. Aachen: Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik, 2014
- [30] DIN EN 636:2015-05 Sperrholz – Anforderungen; Deutsche Fassung EN 636:2012+A1:2015
- [31] DIN EN 313-1:1996-05 Sperrholz – Klassifizierung und Terminologie – Teil 1: Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 313-1:1996
- [32] DIN EN 314-2:1993-08 Sperrholz – Qualität der Verklebung; Teil 2: Anforderungen; Deutsche Fassung EN 314-2:1993
- [33] Umweltbundesamt (Hrsg.): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden, Dezember 2017
- [34] Messal, C.: Entfernen ohne Auszubauen. B + B Bauen im Bestand (2016), Nr. 1, S. 70–74
- [35] Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Bioidzprodukten. Amtsblatt der Europäischen Union L 167/1
- [36] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV). Bundesgesetzblatt (2013), Nr. 40, S. 2514
- [37] Deutscher Holz- und Bautenschutzverband e.V. (DHBV) (Hrsg.): Merkblatt 02-15/S. Schimmelpilzbefall an Holz und Holzwerkstoffen in Dachstühlen. 3. Aufl. Oktober 2018
- [38] DIN EN 927-1:2013-05 Beschichtungsstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich – Teil 1: Einteilung und Auswahl; Deutsche Fassung EN 927-1:2013

- [39] Bundesausschuss Farbe und Sachwert-schutz e.V. (BFS) (Hrsg.): Merkblatt 18: Beschichtungen auf Holz und Holzwerk-stoffen im Außenbereich. März 2006
- [40] DIN 68800-4:2020-12 Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnah-men gegen holzzerstörende Pilze und In-sekten
- [41] Plarre, R.: Evidenzen und Kontroversen zur Biologie und Bekämpfung des Hausbock-käfers *Hylotrupes bajulus* (Coleoptera: Cerambycidae) – mit besonderer Berück-sichtigung der Beiträge von Günther Becker. Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin (2014), Nr. 50
- [42] WTA 1-1-08/D Heißluftverfahren zur Be-kämpfung tierischer Holzzerstörer in Bau-werken. Wissenschaftlich-Technische Ar-bitsgemeinschaft für Bauwerksgeraltung und Denkmalpflege e.V. – WTA (Hrsg.). Stand: 06/2008
- [43] DIN 18533-1:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anfor-derungen, Planungs- und Ausführungs-grundsätze
- [44] Holzforschung Austria (Hrsg.): Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau als Leit-faden für die Planung und Ausführung, Österreicherische Arbeitsgemeinschaft So-ckelanschluss im Holzhausbau. April 2015
- [45] DIN 68365:2008-12 Schnittholz für Zim-mererarbeiten – Sortierung nach dem Aus-sehen – Nadelholz
- [46] Langsdorf, Karl Christian von: Neue leicht-fassliche Anleitung zur Salzwerkskunde mit vorzüglicher Rücksicht auf halurgi-sche Geognosie und auf die zweckmäs-sigsten Anstalten zur Gewinnung reicherer Solquellen. Heidelberg/Leipzig: Neue Aka-demische Buchhandlung Karl Groos, 1824
- [47] Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V. (Hrsg.): Risse bei Massivholz-Terrassendielen und massiven Bohlenbelägen im be-witterten Außeneinsatz
- [48] Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V. (Hrsg.): Terrassen- und Balkonbeläge – Produktstandards und Anwendungsemp-fehlungen, 2009
- [49] Bund Deutscher Zimmermeister (BDZ) (Hrsg.): Fachregeln des Zimmererhand-werks – Balkone und Terrassen, Fachre-geln 02. Dezember 2015
- [50] Glos, P.; Denzler, J.K.: Einfluss von Faserstauchungen auf die Festigkeit von Fichtenholz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 155 (2004), Nr. 12, S. 528–532
- [51] Arnold, M.: Holztechnologische Schadens-begrenzung nach dem Orkan. – EMPA Eid-genössische Materialprüfungs- und For-schungsanstalt, Jahresbericht 2000
- [52] Koch, G.; Bauch, J.; Dünisch, O.; See-hann, G.; Schmitt, U.: Sekundäre Verän-derungen im Holz akut belasteter Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) in Hochlagen des Osterzgebirges. Holz als Roh- und Werk-stoff 54 (1996), S. 243–249
- [53] Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH (Hrsg.): Leitfaden für verlegte WPC-Ware (Deckings) als Handreichung für Gutachter (Verlegefehler). März 2013
- [54] WTA 8-14-14/D Ertüchtigung von Holz-balkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Wissenschaftlich-Techni sche Arbeitsgemeinschaft für Bauwerks-erhaltung und Denkmalpflege e.V. – WTA (Hrsg.). Stand: 09/2014
- [55] Verband Fenster + Fassade (VFF) (Hrsg.): Merkblatt. Wetterschutzschiene an Holz-fenstern. November 2011. (HO.10:2011-11)
- [56] Arnold, U.; Wenk, H. J.: Schäden an Holz-fensterverbindungen. In: Venzmer, H. (Hrsg.): Europäischer Sanierungskalender 2010. Berlin: Beuth Verlag, 2010, S. 329–351
- [57] DIN EN 13629:2020-05 Holzfußböden – Massive Laubholzdielen und zusammen-ge setzte massive Laubholzdielen-Elemen-te; Deutsche Fassung EN 13629:2020

- [58] DIN EN 14298:2018-01 Schnittholz – Ermittlung der Trocknungsqualität; Deutsche Fassung EN 14298:2017
- [59] Koch, G.: Was tun gegen Risse und Verfärbungen? In: DEGA GalaBau Fachzeitschrift für Garten und Landschaftsbau 28 (2007)
- [60] Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) (Hrsg.): AgBB-Bewertungsschema für VOC aus Bauprodukten. August 2018
- [61] Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF) (Hrsg.): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. November 2013
- [62] Erler, K.: Alte Holzbauwerke – Beurteilen und Sanieren. Berlin: Huss-Medien GmbH, 2004
- [63] DIN 4124:2012-01 Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten
- [64] DIN EN 13986:2015-06 Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 13986:2004 + A1:2015
- [65] DIN 20000-1:2017-06 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 1: Holzwerkstoffe
- [66] DIN EN 13017-1:2001-03 Massivholzplatten – Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche – Teil 1: Nadelholz; Deutsche Fassung EN 13017-1:2000

Stichwortverzeichnis

A

Abdeckblech 136, 143
Abdichtungsbahn 143
Ablösung 158
Acetylierung 44
Afromosia 26
Afzelia 41, 102
Algenbildung 125
Ameise 72, 90, 91
Anisotropie 21, 29, 128
Anstrich 48, 153, 156, 163, 164, 169
Ast 126–129
Ausflugloch 113, 115, 148, 150
Ausgebreiteter Hausporling 62, 63, 175, 178
Ausgleichsfeuchte 25, 31

B

Balkonrost 127
Bangkirai 39, 125
Barfußbereich 43
Barfußdiele 126
Basidiomycet 48, 49
Bast 15
Begasungsverfahren 197
Berliner Verbau 119
Beschichtung 103, 134, 135, 153, 159–164, 173
Beschichtung, deckende 104, 130, 154, 157, 165
Beschichtungssystem 105
Bilinga 42, 125
Biozid 44, 107, 186, 192
Birke 18, 19, 46, 78, 82, 160, 172–174
Blättling 64, 179
Bläuepilz 48, 68, 69, 170, 173
Bläueschutz 44
Blechabdeckung 134, 136
Blockhaus 198, 199
Bogenhöhe 127
Bohlenbelag 127, 139
Bohrlochtränkung 108
Bongossi 29, 41, 43
Borke 15
Brauner Kellerschwamm 178

Braunfäule 49, 140, 178

Brettschnitt 22
Buche 32, 37, 46, 78, 82, 133, 174

C

Cellulose 21, 48, 145, 169

D

Darrverfahren 24
Dauerhaftigkeit 32, 44
Dauerhaftigkeit, natürliche 18, 21, 27, 28, 100, 106, 160, 181
Dauerhaftigkeitsklasse 27
Dichtmasse 137, 139
Diele 128, 129, 204, 205
Dimensionsstabilität 44, 45
Dimensionsveränderung 199, 200
Douglasie 34, 35, 128, 140, 174
Doussie 41, 102
Drehwuchs 128
Dünnschichtlasur 125, 161, 163, 164
Durchbiegung, elastische 151
Durchfeuchtung 187

E

Echter Hausschwamm 52, 53, 54, 56, 107, 192
Eckverbindung 155, 156
Edelkastanie 25, 38, 80, 116
Eiche 32, 33, 36, 38, 42, 66, 78, 80, 82, 102, 125, 133, 145, 152, 204
Eindringtiefe 116, 182
Einschnitt, tangentialer 129
Eisen-Gerbstoff-Reaktion 125, 126
Endrisslänge, zulässige 128
Erdkontakt 109, 113–116
Erd-Luft-Zone 116–118
Esche 18, 25, 29, 44, 78, 80
Extraktstoff 21

F

Fachwerk 105, 139, 151, 153
Fällschnitt 22

- Falschkern 18
Farbkern 18, 25
Farbkernholz 17, 100–102, 136
Faserbruch 201
Fasersättigungsbereich 24, 132
Fasersättigungsfeuchte 25
Faserstauchung 201, 204
Faulholzinsekt 72, 73
Festigkeitssortierung 32
Feuchtegehalt 25, 98
Feuchteschutzmaßnahme 133
Feuchteschwankung 200
Feuchtholzinsekt 73
Fichte 32–35, 44, 46, 59, 78, 82, 88, 102, 115–118, 121, 161–164, 182, 183, 199
Flachdach 175, 177, 178
Fladerbretter 129
Fladerschnitt 22
Formtoleranz 163
Fraßgang 73
Frischholzinsekt 72
Frühholz 15, 19, 168
Fugenabstand 142
Furfurylierung 44
Fußboden 22, 204, 207
- G**
Gebrauchsklasse 93, 101, 102, 136, 182
Gebrauchstauglichkeit 129
Gefäß 20
Gesamtpartikelmessung 189
Gescheckter Nagekäfer 84, 85
Gewöhnlicher Nagekäfer 72, 78, 79
Gleichgewichtsfeuchte 25, 26, 198–201
Grabwespe 149
Gradierwerk 137–139
Graffitientfernung 165, 167
Großporiger Feuerschwamm 144
Grundschwelle 152
Guayacan 26
Güteklaasse 127
- H**
Haarfuge 144
Haarriss 129
Harzaustritt 21, 129, 164
Hauptschnittrichtung 29
Hausbockkäfer 72, 74–77, 150
- Heißluftverfahren 150, 193, 194, 197
Heißwasserstrahlen 167
Hemicellulose 21, 145
Hintergrundbelastung 187
Hirnholz 97, 133, 146
Hirnholzriss 128
Holzablösung 129
Holzbalkendecke 146, 178, 206, 207
Holzbegleitstoff 21
Holzbohlenbelag 126
Holzeigenschaften
 - Laubholz, heimisch 36–38
 - Nadelholz 32–35
 - tropische Hölzer 39–43Holzfeuchte 23–26, 52, 183, 185, 186, 200
Holzhaltsstoff 21, 132
Holzschutz, chemischer 110, 136, 146
Holzschutzmaßnahme
 - bauliche 97, 98, 133, 136
 - besondere bauliche 97
 - chemische 116Holzschutzmittel 28, 44, 97, 105, 114, 116, 132, 136, 145, 181, 182
Holzwerkstoffplatte 46, 173, 174
Holzwespe 72, 73, 82
Hygroskopizität 199
Hyphen 49, 185
- I**
Imprägnierbarkeit 33–43
Inspektion, jährliche 146
Instandhaltungsintervall 103, 138
- J**
Jahrring 19, 30
- K**
Kaltdach 24
Kambium 15
Kantenausbruch 129
Keilzinkverbindung 27
Kernholz 16, 17, 18, 21, 23, 25, 27, 28, 113, 116, 145, 197
Kernriss 128
Kernstoff 16
Kesseldrucktränkung 107, 114, 116
Kiefer 32–35, 46, 64, 69, 102, 113, 133, 164, 165, 191



Klebefilmprobe 189
Klimaschwankung 25
Konidien 185
Konstruktionsvollholz 24, 27, 140, 183, 186,
198–201
Kreosot 114
Kriechverformung 151

L

Lack 104
Längsschnitt 22
Lärche 34, 35, 82, 101, 102, 116, 126–129,
133, 140, 164, 168, 170, 174, 179
Larve 73, 197
Lasur 104, 105, 162, 164, 165, 168, 173
Lignin 21, 48, 123, 124, 169
Linde 17
Lumen 23

M

Markriss 128, 129
Markröhre 15, 16, 128
Maßänderung 25
Massaranduba 29, 43, 128, 129
Mast 33, 34, 106, 114, 116, 118
Mazeration 140
Meranti 29, 40
Mikrowelle 194
Mittelschichtlasur 164
Moderfäule 49, 51, 145
Moderfäulepilz 113, 145
modifiziertes Holz 32, 44
Monitoring 150, 178
Muschelkrempling 66, 67
Musterfläche 168
Myzel 49, 185

N

Nassfäulepilz 144, 179
Nebenbestandteil, sekundärer 21
NIK-Wert 191, 192
Nutzungsklasse 26, 186

O

Oberflächenriss 128, 129
OSB-Platte 46, 175, 190, 191

P

Papierabklebung 150
Pfahlgründung 114
Pilzbefall 100, 101, 135, 160
Pilz, holzverfärbender 48, 52, 70
Pilz, holzzerstörender 24, 25, 48, 49, 52
Pilzschaden 109, 113, 144, 146, 147
Poren 20
Propylenglykol 190–192
Prüfprädikat 28, 114

Q

Quellen 24, 28, 45
Quellmaß 26, 29
Quetschlinie 201

R

Radialschnitt 22
Raumklasse 186
Raumluftmessung 190, 191
Regelsanierung 193
Reifholz 17
Renovierungsintervall 161, 163, 164
Resistenz 18, 27
Riftbrett 22, 30
Ringriss 129
Riss 103, 105, 126, 128, 129, 151, 201
Rissbildung 23, 97, 128, 154, 158, 165
Riss im Ast 128
Risstiefe, unbedenkliche 152
Robinie 17, 25, 28, 37, 78, 116, 125
Rotbuche 17–19, 28, 36
Rothalsbock 73, 88, 89, 115

S

Schädlingsbekämpfung, biologische 91
Schälriß 158, 159
Schilfer 129
Schimmelbeseitigung 188, 189
Schimmelpilz 48, 183–186
Schüsseln 129, 204, 205
Schwammsperrmittel 107, 192, 193
Schwinden 22, 28–30, 45, 200
Schwindriss 128, 152
Seite, linke 30
Seitenbrett 30
Seite, rechte 30
Sibirische Lärche 100–102

Sockelausbildung 109–111

Solekasten 138, 139

Sorptionsverhalten 26

Sortierklasse 128

Sortierkriterium 127

Sortierung, maschinelle 32

Sortierung, visuelle 32

Spätholz 15, 19, 165, 168

Sperrholz 46, 159, 160

Sperrholzplatte 105, 157, 161, 172, 173

Splintholz 16–18, 21–27, 116, 145, 197

Splintholzkäfer 72, 80, 81

Stauchbruch 204

Stauchlinie 201

Stehvermögen 25, 26, 33–44

T

Tangentialschnitt 22

Tanne 32, 34, 82, 102, 117, 133, 174

Tannenblättling 65

Tauwasser 147, 173

Teak 42, 91, 102

Teerölbehandlung 114

Termite 72, 73, 91

Trennlage 148

Trockenholzinsekt 72

Trockenriss 128

Trocknungsriß 129

Trocknung, technische 128, 200

U

Unterhaltsreinigung 124

UV-Strahlung 104, 123–125, 169

V

Veralgung 124

Verblauung 44

Verdrehung 151

Verfärbung 122, 124–126, 169, 172

Verfleckung 122–126

Verformung 25, 31, 129, 151

Vergrauung 44, 124, 125, 169

Vergütung 44

Versiegelung 156, 160

V-Fuge 155

VOC (Volatile Organic Compounds) 190, 191

W

Wachstumszone 20

Wärmebehandlung 44

Wärmedämmung 178

Wartung 103, 125, 143, 160, 169

Weißer Porenschwamm 59, 60, 61

Weißfäule 49, 51, 144, 178

Weißlochfäule 51

Wetterbeanspruchung 103

Wetterschutzmaßnahme 133

Wetterschutzschiene 154, 155

Widerstandsmethode 24

Windbruch 204

WPC-Diele 122, 124, 125

Würfelbruch 50, 51, 53, 56, 59, 66, 130

Z

Zuwachszone 20

Schadenfreies Bauen

Die Fachbuchreihe »Schadenfreies Bauen« stellt das gesamte Gebiet der Bauschäden dar. Erfahrene Bausachverständige beschreiben die häufigsten Bauschäden, ihre Ursachen und Sanierungsmöglichkeiten sowie den Stand der Technik. Die Bände behandeln jeweils ein einzelnes Bauwerksteil, ein Konstruktionselement, ein spezielles Bauwerk oder eine besondere Schadensart.

Band 39

Tilo Haustein

Schäden durch fehlerhaftes Konstruieren mit Holz

Richtig eingesetzt eignet sich der Baustoff Holz für viele konstruktive und gestalterische Aufgaben und wird hohen optischen Ansprüchen gerecht. Allerdings müssen essenzielle Konstruktionsregeln beachtet werden, um langjährig schadenfreie Bauwerke zu gewährleisten.

Tilo Haustein erklärt diese Grundlagen praxisnah. Er beschreibt den Aufbau und die spezifischen Materialeigenschaften aller wichtigen heimischen und außereuropäischen Holzarten, ihre Eignung für verschiedene Verwendungsbereiche und dauerhafte Lösungen für konstruktive Details. Zur Bewertung schädlicher Einwirkungen wie Tauwasser, Pilz- und Insektenbefall stellt er die wichtigsten Auszüge aus den Holznormen sowie übersichtliche Tabellen mit Bestimmungs- und Bewertungsmerkmalen zusammen. Anhand ausgewählter Schadensfälle zeigt der Autor Planungs- und Anwendungsfehler an Fenstern, Außenwandverkleidungen, Fachwerk und Balkonen auf, die in der Praxis immer wieder auftreten, aber vermeidbar sind. Wenn die besonderen Eigenschaften von Holz verstanden und beim Bauen berücksichtigt werden, können auch moderne Holzkonstruktionen eine Lebensdauer von über 100 Jahren problemlos erreichen.

Das Buch richtet sich an Planer, Sachverständige, Ausführende im Holzbau sowie Liebhaber von Holzbauwerken, die sich einem nachhaltigen Umgang mit Holz verpflichtet sehen.

Der Autor:

Dr. Tilo Haustein ist Bausachverständiger und von der Ingenieurkammer Sachsen als Sachverständiger für Schäden an Gebäuden sowie bautechnischen und chemischen Holzschutz öffentlich bestellt und vereidigt. Zudem ist er Fachbuchautor, Dozent und Lehrbeauftragter an mehreren Bildungseinrichtungen, Vorstand im Sächsischen Holzschutzverband e.V., berufenes Mitglied im Fachgremium Sachverständigenwesen an der Ingenieurkammer Sachsen sowie in den Prüfungsgremien Schäden an Gebäuden und Holzschutz.

ISBN 978-3-7388-0159-0



9 783738 801590