

Institut für Holztechnologie Dresden · Zellescher Weg 24 · 01217 Dresden · Germany

Gütegemeinschaft Paletten e. V.
Frau Suzane Giurlando
Benrather Schlossallee 2A
40597 Düsseldorf

Institut für Holztechnologie Dresden
gemeinnützige GmbH
Zellescher Weg 24
01217 Dresden · Germany

Tel.: +49 351 4662 334
Fax: +49 351 4662 211
katharina.plaschkies@ihd-dresden.de
www.ihd-dresden.de

Dresden, 14.02.2023

Abschlussbericht

Auftrags-Nr. 9220002-1

Auftraggeber (AG): Gütegemeinschaft Paletten e. V.
Benrather Schlossallee 2A
40597 Düsseldorf

Auftrag vom: 12.10.2020

Auftrag: Studie und Untersuchungen zum Einfluss von Bläue auf die Qualität von Palettenhölzern

Auftragnehmer (AN): Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH

Verantw. Bearbeiter: Dipl.-Biol. Katharina Plaschkies



Dr. Wolfram Scheiding
Ressortleiter Biologie/Holzschutz

Der Bericht enthält 14 Seiten. Jede auszugsweise Vervielfältigung bedarf der schriftlichen Genehmigung des IHD. Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das untersuchte Material.

1 Auftrag

Das Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD) wurde beauftragt, eine Studie zum Einfluss von Bläuebefall auf die Qualität von Palettenhölzern zu erstellen.

Dazu wurde der Stand des Wissens und der Technik zum Thema zusammengestellt und mit ausgewählten Untersuchungen ergänzt. Im Ergebnis liegt eine Dokumentation vor, die sowohl allgemeine Aussagen zur Verblauung von Holz als auch experimentell ermittelte Daten enthält.

2 Grundlagen

2.1 Definition und Taxonomie der Holzverfärbenden Pilze

Unterschiedliche Pilzgruppen können zu Verfärbungserscheinungen des Holzes führen. Hier sind zunächst die sogenannten Bläuepilze zu nennen, die zur Abteilung der Ascomycota gehören und Holzverfärbende Schimmelpilze sowie die klassischen Bläuepilze einschließen. Zahlreiche Schimmelpilzarten verursachen dunkle Verfärbungen an der Holzoberfläche, während Bläuepilze das Holz auch im Inneren in radialer Richtung verfärben und zur sogenannten Bläue führen. Dabei durchwachsen Pilzfäden (Hyphen), die durch das Pigment Melanin dunkelbraun gefärbt sind, insbesondere die Holzstrahlen (Parenchymzellen) des Splintholzes von Nadel-, aber auch von Laubhölzern. Einige Pilzarten, wie beispielsweise *Aureobasidium pullulans*, bilden dickwandige, dunkle Clamydosporen. Durch die Lichtbrechung im Holz erscheinen diese Strukturen blau oder blaugrau (Schmidt 2006). Dabei werden folgende Typen der Verblauung unterschieden (Butin 1965):

- Stammholzbläue (primäre B.) an frisch geschlagenem Holz,
- Schnittholzbläue (sekundäre B.) an frisch gesägtem Holz mit hoher Feuchte und
- Anstrichbläue (tertiäre B.) an verarbeitetem - auch beschichtetem - Holz nach Befeuchtung.

Es sind mehr als 100 Pilzarten bekannt, die Bläue verursachen können (Grosser 1985).

Im Unterschied zu den Erregern dieser tiefgehenden Verblauungen wachsen farbige Hyphen (Pilzfäden) bestimmter Schimmelpilze nur wenige Millimeter in das Holz ein, beeinträchtigen dadurch aber umso mehr die Ästhetik der Holzoberflächen. Zu rein oberflächlichen Verfärbungen können auch farbige Sporen und Myzelien (braun, rötlich, gelb, grün) sowie farbige Stoffwechselprodukte führen.

Neben diesen meist dunklen Verfärbungen können im Holz (insbesondere an Fichte) auch rötliche, gelbe oder violette Veränderungen auftreten, die unter dem Begriff der Rotstreifigkeit bekannt sind. Verursacher sind Pilze aus der Abteilung Basidiomycota, die über Rindenverletzungen oder die Hirnflächen frisch gefällter Bäume eindringen und durch Abbau der Holzbestandteile Cellulose, Hemicellulosen und Lignin eine Weißfäule bewirken. Die häufigsten Rotstreife-Erreger sind *Stereum*-Arten (Schichtpilze, vor allem *S. sanguinolentum*) (Gloss and Gramm 1987). Rotstreifiges Holz ist besonders anfällig für den Befall mit zerstörenden Hausfäulepilzen (Weiß 2021). Ebenfalls rötliche Verfärbungen in Verbindung mit Weißfäule verursacht der Wurzelschwamm *Heterobasidion annosum*, der vorwiegend über die Wurzel oder Rindenverletzungen im unteren Stammbereich in den lebenden Baum eindringt.

Im Gegensatz zu diesen unerwünschten Verfärbungen gibt es auch Verfärbungsreaktionen, die man sich für dekorative Zwecke zunutze machen kann. Bei diesem „Spalting“ werden von verschiedenen Pilzklassen, die oft simultan auftreten, folgende Erscheinungen hervorgerufen: Bleichen (Ligninabbau durch Basidiomyceten), Grenzlinien (Ausscheidung von Melanin und anderen Pigmenten in abgegrenzten Bereichen durch Ascomyceten oder Basidiomyceten) und Pigmentierung (Ausscheiden von Pigmenten über große Bereiche des Holzes) (Gutierrez et al. 2021). Braune Grenzlinien werden beispielsweise durch *Armillaria*-oder *Xylaria*-Arten (Mallett and Hiratsuka 1986), pinke oder gelbe Verfärbungen durch *Scytalidium*-Arten (Robinson et al. 2013) und grünliche Verfärbungen durch *Chlorociboria* sp. hervorgerufen (Mallett and Hiratsuka 1986, Robinson et al. 2013, Stange et al. 2019, Morris et al. 2021).

Auch Bakterien können Verfärbungsreaktionen am Holz auslösen, insbesondere im Zuge der sogenannten Verstockung an frisch geschlagenem (Buchen-)Holz. Dabei werden Inhaltsstoffe des parenchymatischen Gewebes abgebaut (Koch et al. 2000). Bestimmte Bakterien sind auch am Holzabbau beteiligt und können in Erosions-, tunnelbildende und Caviations-Bakterien unterteilt werden. Sie spielen jedoch gegenüber Pilzen eine untergeordnete Rolle und sind vor allem bei der Wasserlagerung oder -berieselung sowie an Bauteilen im Erd- oder Wasserkontakt relevant (Rehbein 2011).

In der Praxis ist es nicht immer einfach, diese beschriebenen mikrobiellen von nicht-mikrobiellen Verfärbungen zu unterscheiden. Beispiele für letztgenannte sind Enzymreaktionen an Laubhölzern (z. B. Erle, Eiche, Buche, Ahorn), Eisen-Gerbstoff-Reaktionen (Eiche, Hemlock, Rotzeder), Braunfärbung an Hemlock, Verfärbungen an Stamm-Enden nach dem Fällen, Ofen- und Maschinenbrand im Trocknungs- und Bearbeitungsprozess, mineralische Verfärbungen (z. B. durch Kalziumoxalat an Douglasie, Eiche, Ahorn), Klebeflecken, Reaktionsholz (Rotholz in Hemlock) sowie Wasser- und Witterungsflecken durch UV-Licht und Niederschläge (Uzunovic et al. 2008).

In Tab. 1 sind typische Pilzarten aufgeführt, die zu Holzverfärbungen führen können.

Tab. 1: Pilzliche Erreger von Holzverfärbungen (Steitz et al. 2013, Bardage 1996, Bekker et al. 2015, Scheiding et al. 2012, van Nieuwenhuijzen et al. 2015, Uzunovic et al. 2008, Imran 2011, Simmons 1967, Humar et al. 2008, Hukka and Viitanen 1999, Sailer et al. 2010)

Bläuepilze	<i>Alternaria alternata</i> , <i>A. atra</i> ; <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>A. melanogenum</i> ; <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>C. herbarum</i> , <i>C. ramotenellum</i> ; <i>Ceratocystis imperfecta</i> , <i>C. spp.</i> ; <i>Didymella glomerata</i> ; <i>Discula pinicola</i> ; <i>Grossmannia</i> spp.; <i>Leptographium</i> spp.; <i>Ophiostoma piceaea</i> , <i>O. piliferum</i> ; <i>Sphaeropsis</i> spp.; <i>Sydowia polyspora</i> ; <i>Ulocladium</i> spp.
Schimmelpilze	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. spp.</i> ; <i>Epicoccum nigrum</i> , <i>E. pupurascens</i> ; <i>Paecilomyces variotii</i> , <i>Paecilomyces</i> spp.; <i>Penicillium</i> spp.; <i>Trichoderma viride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>T. longibrachiatum</i>
Rotstreifigkeit/ Rotfäule	<i>Heterobasidion annosum</i> (Wurzelschwamm); <i>Stereum sanguinolentum</i> (Bluten- der Schichtpilz)

2.2 Lebensbedingungen

Die wichtigste Voraussetzung für das Wachstum von Pilzen auf Holzoberflächen ist die Wasserverfügbarkeit, die als Wasseraktivität bzw. a_w -Wert bezeichnet wird. Vereinfacht ausgedrückt, entspricht der a_w -Wert der relativen Luftfeuchte direkt über der Materialoberfläche, dividiert

durch 100 %; der Wert hat damit keine Einheit. Schimmelpilze wachsen optimal bei a_w -Werten im Bereich von 0,90...0,99; für xerophile Arten genügen Werte ab 0,70. Der Temperaturbereich liegt zwischen 0 °C und 40 °C. Der Nährstoffbedarf ist sehr gering - es können entweder die Inhaltsstoffe des Materials oder der Umgebung genutzt werden. Dagegen ist die Holzfeuchte für oberflächlich wachsende Schimmelpilze nicht von Bedeutung, wohl aber für die Bläue. Für letztere ist ein Temperaturbereich zwischen 4 °C und 35 °C geeignet, und es wird eine Holzfeuchte von mindestens 24 % benötigt (Lindgren 1942).

3 Risiko der Verblauung/Verfärbung an Palettenhölzern

Da die Feuchte der wichtigste Einflussfaktor für ein Pilzwachstum ist, besteht im feuchten Zustand nach dem Einschlag bis zur natürlichen oder künstlichen Trocknung das höchste Risiko für einen Pilzbefall. Diesen Zustand gilt es möglichst schadfrei zu überbrücken, damit das Holz für die Herstellung von Paletten verwendet werden kann. Für diesen temporären Bläueschutz wurde das Technische Regelwerk der EPAL bereits 2017 erweitert und damit die Verwendung einiger Bläueschutzmittel erlaubt (EUWID Verpackung 2017).

Im trockenen Holz besteht keine Gefahr, dass sich bereits im Holz vorhandene Bläuepilze weiter ausbreiten. Paletten dürfen nach der Produktion eine maximale Holzfeuchte von 22 % aufweisen. Nach einer Befeuchtung des Holzes kann jedoch jederzeit ein Neubefall mit Pilzen auftreten. Auch Rotstreifeerreger, die das Holz abbauen, können nicht unterhalb des Fasersättigungsfeuchte wachsen, sich jedoch bei erneuter Auffeuchtung weiterentwickeln (Gloss and Gramm 1987). Zum Durchwachsen des Holzes ist also eine bestimmte Holzfeuchte erforderlich, die sich erst nach längerer Lagerung in feuchter Umgebung oder bei Durchnässung einstellt.

Im Unterschied dazu reicht zur oberflächlichen Besiedlung mit Schimmelpilzen eine bestimmte Feuchte an der Oberfläche aus. Schimmelpilze können bereits ab einer relativen Luftfeuchte von ca. 65 % wachsen. Das heißt, auch wenn die Paletten nur kurzzeitig oder periodisch einer Befeuchtung ausgesetzt sind, die nicht zur wesentlichen Erhöhung der Holzfeuchte führt, kann durchaus eine Besiedlung stattfinden. Wärme (Temperaturen bis ca. 35 °C) und organische Verschmutzungen der Oberfläche begünstigen das Wachstum dabei zusätzlich. Unter optimalen Bedingungen werden nahezu alle Hölzer von Schimmelpilzen bewachsen (Scheidung et al. 2003).

Bei Nadelhölzern ist das (nährstoffreichere) Splintholz generell stärker durch einen Pilzbefall gefährdet; dieser Effekt zeigt sich bei Fichte sogar noch an beschichteten Splintholzbereichen (Gobakken and Lebow 2010). Die geringere Pilzanfälligkeit der Kernhölzer (z. B. Kiefer, Ipe, Rotzeder, Douglasie) beruht auf einem hohen Extraktstoffgehalt, der mit einem anderen Feuchteverhalten und pilzwidrigen Eigenschaften verbunden ist (Wangaard and Granados 1967, Grohs and Kunz 1998, Blom et al. 2013). Kernholz der Kiefer wird als sogenanntes Hygieneholz auch für Paletten verwendet (Wilms 2022, Steinkamp 2000).

Bei der Betrachtung von Verpackungsmitteln und Ladungsträgern stellt sich die Frage nach dem Einfluss einer phytosanitären Behandlung gemäß ISPM 15 (Sekretariat des Internationalen Pflanzenschutzübereinkommens 2019) auf die Anfälligkeit gegenüber verfärbenden Pilzen. Erforderlich ist eine Hitzebehandlung (HT) mit einer Kerntemperatur von mindestens 56 °C über einen Zeitraum von 30 min, die nur einen sehr geringen Einfluss auf die Holzfeuchte hat. Zur schnellen

Senkung der Holzfeuchte wird bei Palettenhölzern häufig eine technische Trocknung durchgeführt, mit der die Anforderung ebenfalls erfüllt wird. Durch die reine phytosanitäre Hitzebehandlung ohne Trocknung kann die Anfälligkeit für einen Befall durch holzverfärbende Pilze deutlich erhöht werden, da Speicherstoffe an die Oberfläche migrieren (Lambertz 2005, 2009).

In diesem Zusammenhang gibt es auch Hinweise darauf, dass frisch geschlagenes Holz in kürzester Zeit von Bläuepilzen und weniger von Schimmelpilzen besiedelt wird. Eine Abtötung der Holzzellen (z. B. durch Gamma-Bestrahlung) und des biologischen Befalls scheint dagegen das Risiko für einen Befall mit Schimmelpilzen zu erhöhen (Williams et al. 1998). Dieser Vergleich ist allerdings nur bei frischem, noch nicht getrocknetem Holz relevant, da die Pilze auf getrocknetem Holz nur bei hoher Umgebungsfeuchte wachsen. Wenn diese Bedingungen eintreten, ist vor dem Auftreten von Verblauung in der Regel zuerst mit oberflächlichem Schimmelpilzbefall zu rechnen. Bei der Lagerung der Paletten auf frei bewitterten Außenplätzen kann es jedoch auch in relativ kurzer Zeit zur Verblauung kommen.

Die Anfälligkeit für einen oberflächlichen Schimmelpilzbefall kann auch durch die Art der Holz Trocknung beeinflusst werden. Nach der Kammertrocknung ist die Konzentration von Stickstoff und niedermolekularen (d. h. leicht verfügbaren) Kohlenstoffverbindungen höher als in frisch gesägtem Holz und damit erklärlich, dass kammergetrocknetes Holz anfälliger ist für Schimmelpilzbefall (Viitanen 2001).

4 Anforderungen an die Holzqualität von Europaletten

Im technischen Regelwerk der EPAL (EPAL 2022) sind unter anderem Anforderungen definiert, die mit Verfärbungen durch Mikroorganismen direkt oder indirekt in Zusammenhang stehen. Für Europaletten dürfen ausschließlich die Nadelhölzer Tanne, Fichte, Kiefer, Lärche und Hemlock sowie die Laubhölzer Erle, Birke, Pappel, Aspe, Eiche, Esche, Buche, Ulme, Robinie, Ahorn, Platane und Edelkastanie verwendet werden. Die Holzfeuchte der Bretter darf bei Abschluss von Produktion und Trocknung maximal 22 % betragen. Damit ist ein Wachstum von holzerstörenden Pilzen im Holz zunächst ausgeschlossen. Gesundes Splintholz ist bei Nadelhölzern ohne Einschränkung zulässig, auch wenn für diese Bereiche ein erhöhtes Risiko für einen Befall mit holzverfärbenden Pilzen besteht (siehe oben). Bei Laubhölzern ist die Größe des zulässigen Splintholzbereiches definiert. Bläue ist zulässig, da diese nur das Erscheinungsbild des Holzes betrifft und dessen mechanische Eigenschaften nicht beeinträchtigt.

Das Holz darf keine Holzschutzmittel enthalten, mit Ausnahme der von der EPAL zugelassenen temporären Bläueschutzmittel.

Für gebrauchte Paletten sind Qualitätsklassen definiert (EPAL 2022, EPAL 2021). In Klasse A sind keine Verfärbungen, in Klasse B dunkle Verfärbungen erlaubt. In Klasse C darf das Holz oberflächlich feucht sein und Verunreinigungen aufweisen, die nicht an das Ladegut abgegeben werden. Morsche oder faule Klötze müssen ausgesondert werden.

5 Auswirkungen einer Verfärbung/Verblauung

5.1 Optische Beeinträchtigung

Verfärbungen durch Pilze bedeuten eine optische Beeinträchtigung, welche die Ästhetik besonders auf hellen Hölzern und Hölzern im Sichtbereich stört. Diese negative Bedeutung verfärbender Pilze an Holz belegen zahlreiche Arbeiten, wie z. B. (Bardage 1996, Ghosh et al. 2009, Gobakken et al. 2010, Ghosh et al. 2012, Burud et al. 2014, Sandak et al. 2017). Das betrifft sowohl die Verblauung als auch lediglich oberflächliche auftretende dunkle Verfärbungen.

Bei Palettenhölzern ist diese optische Beeinträchtigung zunächst ohne Bedeutung, da sie nur eine technische und keine ästhetische Funktion erfüllen. Daher ist Bläue an Palettenhölzern zulässig (EPAL 2021).

5.2 Hygienische Eigenschaften

Verblauung und dunkle Verfärbungen können Verschmutzungen bzw. eine mikrobielle Belastung implizieren, so dass sie in Bereichen mit hohen hygienischen Anforderungen, wie der Lebensmittelindustrie, prinzipiell wenig Akzeptanz finden. Hier ergibt sich die Frage nach der tatsächlichen hygienischen Bedeutung.

Bei der Bewertung ist zu unterscheiden, ob es sich um reine Verblauung/Verfärbung oder um einen oberflächlichen Schimmelpilzbewuchs handelt.

Für verblautes/verfärbtes Holz sind keine Untersuchungen bekannt, die belegen, dass hier eine gesundheitliche Gefährdung besteht. Vielmehr gibt es die eindeutige Aussage, „Gesundheitsrisiken für den Menschen bestehen nicht“ (Umweltbundesamt 2019).

Anders ist der Befall mit Schimmelpilzen auf der Oberfläche zu bewerten. Diese können Sporen in die Luft freisetzen, die in die Atemwege der Nutzer gelangen können. Daher besteht bei starkem Pilzbefall an der Oberfläche ein gewisses Risiko für Personen, die Umgang mit dem befallenen Holz haben. Außerdem können die Pilze durch direkten Kontakt auf die Waren bzw. die Verpackungen übertragen werden.

5.3 Holzfestigkeit

Bläuepilze verwerten in den Parenchymzellen Zucker, Stärke und Proteine, wohingegen das Lignin der Zellwände nicht abgebaut wird. Bereits sehr frühe Arbeiten wiesen nach, dass eine Verblauung keine oder nur sehr geringe Auswirkungen auf die Festigkeit hat (Chapman and Scheffer 1940). Weitere Nachweise dafür finden sich u. a. bei (Schirp et al. 2003, Schirp et al. 1999). Humar et al. (2008) bewiesen mittels Infrarot-Spektroskopie, dass sich die die Strukturbausteine Lignin, Cellulose und Hemicellulose durch Bläuepilze nicht verändern.

Verschiedene holzverfärbende Schimmelpilze können zwar isolierte Cellulose und Pektin abbauen, jedoch keine lignifizierte Zellwände. Eine Ausnahmen bilden hier solche Schimmelpilzarten, die unter sehr feuchten Bedingungen eine sogenannte Moderfäule verursachen können; Beispiele hierfür sind *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* und *Phialophora* sp. (Schmidt 2006).

In der vorliegenden Studie wurde die Aussage, dass die Festigkeit durch eine Verbläueung nicht negativ beeinflusst wird, an Kiefernspinhholz überprüft. Dazu wurde an Hölzern durch die Pilze *Aureobasidium pullulans* und *Sydowia polyspora* eine durchgehende Bläue erzeugt, indem die Hölzer im Laborversuch in Anlehnung an DIN EN 152 beimpft und bebrütet wurden. An 20 Prüfkörpern der Abmessungen (100 × 10 × 4) mm³ wurde der Biege-E-Modul vor und nach dem Pilztest als Dreipunktbiegung in Anlehnung an DIN EN ISO 178 bestimmt. Der Abstand zwischen den Auflagern betrug 80 mm bei einer Prüfgeschwindigkeit betrug 1,1 mm/min. Aus den Lastverformungskurven wurden Kraft-Durchbiegungs-Wertepaare bei Kräften von 25 N und 100 N aufgezeichnet und das Elastizitätsmodul berechnet. Die Abb. 1 und Abb. 2 zeigen die Prüfkörper sowie den Aufbau der Biegeprüfung.



Abb. 1: Kiefernspint-Prüfkörper für Bläuetest und Biegeprüfung

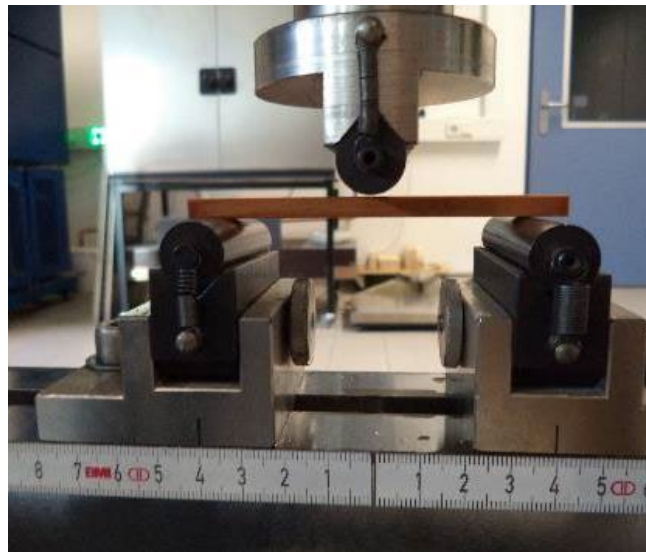


Abb. 2: Biegeprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 178

Im Ergebnis wurde an den unverblauten Hölzern ein mittlerer E-Modul von 8.628 N/mm² bestimmt, während dieser bei den verblauten Hölzern 8.278 N/mm² betrug (Abb. 3). Ein durchgeführter t-Test (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) ergab keine signifikante Änderung dieser Eigenschaft. Somit wurde auch hier die These bestätigt, dass die Bläue keinen Einfluss auf diese mechanische Eigenschaft hat.

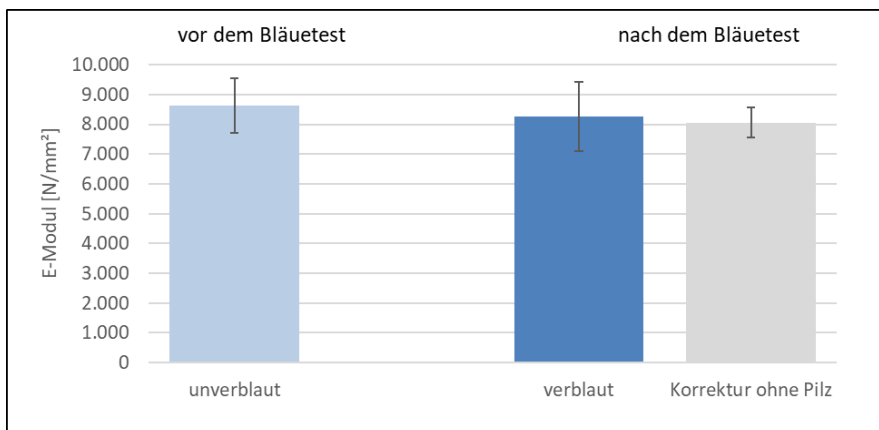


Abb. 3: Biege-E-Modul von verblauten und unverblauten Kiefernspinhölzern (Mittelwerte aus $n_{\text{Test}} = 20$; $n_{\text{Korrektur}} = 10$; Balken: Standardabweichung)

5.4 Feuchteaufnahme

Eine veränderte Feuchteaufnahme ist für die Pilzanfälligkeit von Holz von besonderer Bedeutung. Da Bläuepilze die Membranen der Spaltöffnungen abbauen können, verursachen sie eine erhöhte Wasseraufnahme (Brischke and Alfredsen 2020). Andererseits können Pilzhyphen den Wassertransport in den Gefäßen behindern und so die Wasseraufnahme verringern (Zhao et al. 2019). Demgegenüber hat eine Verblauung jedoch keinen Einfluss auf die Aufnahme von Wasserdampf und damit auch nicht auf die Ausgleichsfeuchte (SWEDISH WOOD).

In der vorliegenden Studie wurde die Feuchteaufnahme von verblautem Kiefern-splintholz im Vergleich zu unverblautem bei Lagerung im warmen Feuchtklima (36 °C, 95 % relative Luftfeuchte) über einen Zeitraum von 48 Stunden überprüft. Dabei wurde die Verblauung durch *Aureobasidium pullulans* und *Sydowia polyspora* im Laborversuch gemäß DIN EN 152 induziert. Im Ergebnis wurde bei beiden Varianten kein signifikanter Unterschied der Holzfeuchte festgestellt und damit die These bestätigt, dass eine Verblauung keinen Einfluss auf die Feuchteaufnahme hat (Abb. 4).

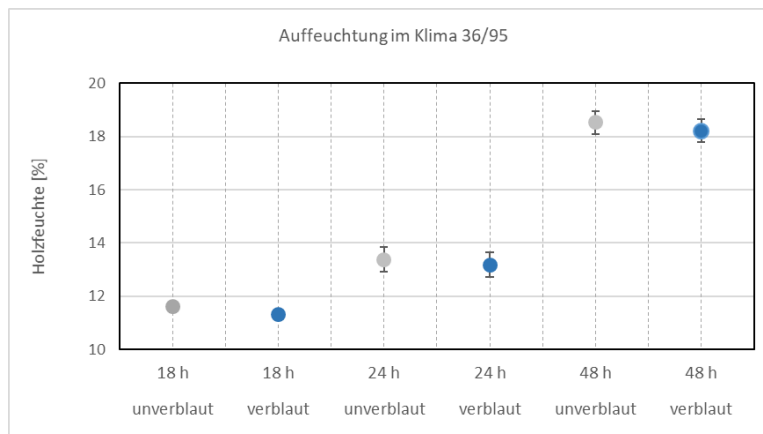


Abb. 4: Mittelwerte der Feuchteaufnahme der verblauten und unverblauten Prüfkörper aus Kiefern-splintholz über einen Zeitraum von 48 Stunden (n=10; Balken: Standardabweichung)

5.5 Anfälligkeit gegenüber Schimmelpilzen

In einem Laborversuch in Anlehnung an DIN EN 60068-2-10 sollte am Beispiel von Kiefernholz beurteilt werden, ob Schimmelpilze aus der Umgebung verblautes Holz leichter besiedeln können als unverblautes, da ggf. mehr leicht verfügbare Nährstoffe zur Verfügung stehen, oder diese aber aufgrund einer antagonistischen Wirkung von Bläuerregern gehemmt werden.

Die Versuche erfolgten mit unverblauten Hölzern, verfärbten Hölzern aus der Praxis sowie mit Hölzern, an denen an Zwillingssproben im Labor eine Verfärbung induziert wurde.

Die Prüfkörper wurden im Pilztest mit einer gemischten Sporensuspension aus *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, *Paecilomyces variotii* und *Penicillium pinophilum* beimpft und im Feuchtklima über einen Zeitraum von vier Wochen bebrütet. Anschließend wurde der Bewuchs auf den Prüfkörpern visuell bewertet.

In jedem Fall waren die verblauten Prüfkörper in der zweiwöchigen Anfangsphase geringer bewachsen als die unverblauten. Im weiteren Prüfverlauf waren jedoch keine deutlichen Unterschiede mehr erkennbar. Dabei machte es keinen wesentlichen Unterschied, ob die Hölzer in der Praxis überwiegend durch *Ophiostoma* spp. (vgl. Abschnitt 4.3) verblaut waren oder die Verblauung im Labor mit *Aureobasidium pullulans* und *Sydowia polyspora* induziert wurde.

5.6 Gesamtbewertung der Auswirkungen von Schimmel- und Bläuebefall auf die Holzeigenschaften

Aus den wissenschaftlichen Publikationen und den durchgeführten Untersuchungen kann geschlossen werden, dass die Holzfestigkeit und damit die technische Funktion von Paletten durch Bläue- und holzverfärbende Pilze nicht beeinträchtigt wird. Außerdem ergeben sich keine Hinweise auf eine Änderung der Feuchteaufnahmefähigkeit.

Bei Betrachtung der hygienischen Eigenschaften ergibt sich bei verblautem Holz ohne Oberflächenbewuchs kein gesundheitliches Risiko.

Im Schimmelpilztest mit verblauten und unverblauten Hölzern zeigte sich eine gewisse Hemmwirkung der Verblauung auf die Schimmelpilze. Dieser Befund bestätigt die These, dass ein Bewuchs mit Bläuepilzen die nachfolgende Besiedlung des Holzes mit Bläue- und Schimmelpilzen erschweren kann (Farrell et al. 1993).

6 Mikrobiologische Untersuchungen von verblauten Palettenhölzern

Gebrauchte Paletten aus Kiefernholz, welche deutliche pilzliche Verfärbungen bzw. Pilzbewuchs aufwiesen, wurden hinsichtlich der auftretenden Arten näher untersucht und der Vitalitätszustand ermittelt, um mögliche Auswirkungen des Pilzbefalls auf die Palettenqualität bewerten zu können.

6.1 Pilzarten

Nach der makroskopischen Bewertung und Dokumentation wurden zunächst Abdruckproben mittels Klebefilm entnommen, die dann auf Objektträgern angefärbt und im Durchlichtmikroskop bei bis zu 1000facher Vergrößerung zur Identifizierung der Pilzarten begutachtet wurden.

Darüber hinaus wurden unter aseptischen Bedingungen kleine Späne herauspräpariert, auf Nährboden gelegt und bei 25 bis 28 °C zur Auskeimung gebracht. Aus dem Befund konnten Aussagen zur Lebensfähigkeit abgeleitet werden. Zur Bewertung der Verblauung im Holzinnern wurden einige Bretter quer aufgesägt.

Zahlreiche Bretter wiesen großflächige, dunkle Verfärbungen und/oder Verschmutzungen auf. Auch im Querschnitt waren die Bretter stellenweise durchgehend verblaut, dabei oft deutlich im Splintholzbereich (Abb. 5).



Abb. 5: Repräsentative Bretter im Querschnitt mit Verblauungen

Folgende Bläue- und Schimmelpilze wurden nachgewiesen:

- Bläuepilze: *Ophiostoma-piceae*-Komplex, sp., *Alternaria* spp.
- Schimmelpilze: *Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp., *Trichoderma* spp.

Darüber hinaus wurden in verschiedenen Bereichen weiße Oberflächen- oder Strangmyzelien sowie weiße, flache Fruchtkörper von holzerstörenden Pilzen (Basidiomyceten) festgestellt. Bestimmt wurden dabei verschiedene Gattungen und Arten von Rindenpilzen, die zur taxonomischen Abteilung Basidiomycota gehören. Sie benötigen für ihre Entwicklung hohe Materialfeuchten und bauen Lignin und Cellulose gleichermaßen ab. In den aufgehellten Bereichen war das Holz bereits durch Weißfäule geschädigt.

6.2 Lebensfähigkeit der Bläuepilze

Die verfärbten Holzproben zeigten auf Nährmedium ein deutliches Wachstum von Bläuepilzen. Die gewachsenen Arten stimmten mit denen überein, die in der Direktmikroskopie der Klebefilme bestimmt wurden. Zusätzlich wurde hier jedoch auch häufig *Aureobasidium melanogenum* gefunden, der auf den Brettern nicht auftrat und offenbar durch die Bläuepilze aus der Gattung *Ophiostoma* unterdrückt wurde. Die Abb. 6 zeigt repräsentative Nähragarplatten nach der Inkubation.

Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass die verfärbenden Pilze wie auch die Bläuepilze im eigentlichen Sinne bei ungünstigen Lager- und Transportbedingungen, die mit hoher Feuchte und Verschmutzung verbunden sind, auswachsen können.



Abb. 6: Beispiele von Auskeimung von Spänen auf Malzagar: *Cladosporium* sp., *Ophiostoma* sp. und *Aureobasidium melanogenum* (links); *Trichoderma* sp. und *Ophiostoma* sp. (Mitte); *Ophiostoma* sp. (rechts)

7 Einfluss einer Hitzebehandlung und/oder technischen Trocknung auf die Verblauung

Durch eine phytosanitäre Hitzebehandlung gemäß ISPM 15 werden lipophile Holzinhaltstoffe freigesetzt, die Pilzen als Nahrungsquelle dienen können und die häufig beobachtete Pilzanfälligkeit von phytosanitär behandeltem Holz ohne technische Trocknung begründen (Welling und Lambertz 2008). In einem Laborversuch in Anlehnung an DIN EN 152 mit verkürzter Prüfzeit von fünf Wochen wurden IPPC-behandeltes und zusätzlich auf 30 % Holzfeuchte technisch getrocknetes Fichtenholz hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für Bläuepilzbefall verglichen. Dazu wurden die von einem Sägewerk direkt nach der Behandlung gelieferten Hölzer zugeschnitten und zunächst im Klima 20/65 bis zur Massekonstanz konditioniert. Danach erfolgten die Sterilisierung und Be-

impfung. Während der anschließenden Inkubation unter feuchten Bedingungen wurde das Fortschreiten der Verblauung beobachtet. Im Ergebnis zeigte das Fichtenholz erwartungsgemäß eine deutlich geringere Anfälligkeit gegenüber Bläuepilzen als das Referenzholz Kiefernslint, welches durchgehend stark verblaut wurde. Bei den Fichtenhölzern unterschied sich der Befall bei den beiden Behandlungsvarianten in der Form, dass von den jeweils acht Prüfkörpern sechs der nach ISPM 15 behandelten und nur zwei der kammergetrockneten einen Bewuchs aufwiesen.

Somit wurde hier der Nachweis erbracht, dass durch die technische Trocknung das Pilzrisiko von nach ISPM 15 behandeltem Holz gesenkt werden kann.



Dipl.-Biol. Katharina Plaschkies

Verantwortliche Bearbeiterin

References

- Bardage SL. 1996. Colonisation of painted wood by *Aureobasisum pullulans* - analysis of features and consequences for failure in service. IRG/WP 96-10144. Guadaloupe, France.
- Bekker M, Erich S, Hermanns S, van Maris M, Huinink HP, Adan O. 2015. Quantifying discoloration caused by the indoor fungus *Penicillium rubens* on building material at controlled humidity. *Building and Environment* 90:60–70.
- Blom Å, Johansson J, Sivrikaya H. 2013. Some factors influencing susceptibility to discoloring fungi and water uptake of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and Oriental spruce (*Picea orientalis*). *Wood Material Science & Engineering* 8:139–144.
- Brischke C, Alfredsen G. 2020. Wood-water relationships and their role for wood susceptibility to fungal decay. *Applied microbiology and biotechnology* 104:3781–3795.
- Burud I, Gobakken LR, Flø A, Kvaal K, Thiis TK. 2014. Hyperspectral imaging of blue stain fungi on coated and uncoated wooden surfaces. *International Biodeterioration & Biodegradation* 88:37–43.
- Butin H. 1965. Bläue an lackiertem Holz. *Holz-Zentralblatt* 1965:37–39.
- Chapman AD, Scheffer C. 1940. Effect of blue stain on specific gravity and strength of Southern Pine. *Journal of Agricultural Research*:125–134.
- DIN EN 152:2012-02, Holzschutzmittel - Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit einer Schutzbehandlung von verarbeitetem Holz gegen Bläuepilze - Laboratoriumsverfahren
- DIN EN ISO 178:2019-08, Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften (ISO 178:2019)
- DIN EN 60068-2-10/A1:2019, Umgebungseinflüsse - Teil 2-10: Prüfverfahren - Prüfung J und Leitfaden: Schimmelpilzwachstum (IEC 60068-2-10:2005)
- EPAL. 2021. Qualitätsklassifizierung der EPAL. Tauschbedingungen der EPAL 2022. European Pallet Association e.V.; Technisches Regelwerk: Abchnitt 2, Teil 1: Produktion, Reparatur und Kennzeichnung.
- EUWID Verpackung. 2017. EPAL: Einsatz von temporärem Bläueschutz | EUWID Verpackung. Available at: <https://www.euwid-verpackung.de/news/logistik/einzelansicht/Artikel/epal-einsatz-von-temporaerem-blaeueschutz.html>. Accessed February 16, 2022.216Z.
- Farrell RL, Blanchette RA, Brush TS, Hadar Y, Iverson S, Krisa K, Wendler PA, Zimmerman W. 1993. Cartapip™: a biopulping product for control of pitch and resin acid problems in pulp mills. *Journal of Biotechnology* 30:115–122.
- Ghosh SC, Dyckmans J, Militz H, Mai C. 2012. Effect of quat- and amino-silicones on fungal colonisation and decay of wood. *Holzforschung* 66.
- Ghosh SC, Militz H, Mai C. 2009. The efficacy of commercial silicones against blue stain and mould fungi in wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 67:159–167.
- Gloss P, Gramm A. 1987. Untersuchung der Festigkeit von Fichten-Holz nach Schädlingsbefall infolge von Waldschäden. Abschlussbericht 85502: Fraunhofer IRB Verlag.
- Gobakken LR, Høibø OA, Solheim H. 2010. Mould growth on paints with different surface structures when applied on wooden claddings exposed outdoors. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64:339–345.
- Gobakken LR, Lebow PK. 2010. Modelling mould growth on coated modified and unmodified wood substrates exposed outdoors. *Wood Science and Technology* 44:315–333.
- Grohs B-M, Kunz B. 1998. Studie zur Nutzung von Kernholzextrakten als potentielle biologische Holzschutzmittel. *European Journal of Wood and Wood Products* 56:217–220.
- Grosser D. 1985. Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholz- Schädlinge. Leinfelden-Echterdingen: DRW.

- Gutierrez PV, Almushardi B, Huber M, Andersen C, van Court RC, Robinson SC. 2021. Expanding the spalting palette: developing yellow, purple, and green pigments from *Scytalidium ganodermophthorum*. *International Wood Products Journal* 12:34–39.
- Hukka A, Viitanen HA. 1999. A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology* 33:475–485.
- Humar M, Vek V, Bučar B. 2008. Properties of blue-stained wood. *DRVNA INDUSTRIJA*:75–79.
- Imran ZK. 2011. Isolation and identification species of *Ulocladium* Preuss from different regions in Iraq. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*:27–47.
- Koch G, Bauch J, Puls J, Schwab E, Welling J. 2000. Holzverfärbungen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* [L.]) und Möglichkeiten vorbeugender Maßnahmen. *Holz-Zent.bl. Leinfelden-Echterdingen*:74–75.
- Lambertz G. 2005. Untersuchungen zur Entwicklung von Schimmel und Bläue auf phytosanitär behandeltem Schnittholz. Diplomarbeit. Hamburg.
- Lambertz G. 2009. Temporäre Inhibierung mikrobieller Verfärbungen an saftfrischem, hitzebehandeltem Kiefern-Schnittholz (*Pinus sylvestris* L.) vor der Trocknung. Dissertation. Hamburg.
- Lindgren RM. 1942. Temperature, moisture, and penetration studies of wood-staining *Ceratostomellae* in relation to their control. U.S.D.A. Tech. Bull.
- Mallett KI, Hiratsuka Y. 1986. Nature of the “black line” produced between different biological species of the *Armillaria mellea* complex. *Canadian Journal of Botany* 64:2588–2590.
- Morris H, Smith KT, Robinson SC, Göttelmann M, Fink S, Schwarze FW. 2021. The Dark Side of Fungal Competition and Resource Capture in Wood: Zone Line Spalting From Science to Application. *SSRN Electronic Journal*.
- Rehbein M. 2011. Topochemische und feinstrukturelle Analysen des mikrobiellen und chemischen Zellwandabbaus zur Charakterisierung der Holzeigenschaften wichtiger Wirtschaftsbaumarten. Dissertation. Hamburg.
- Robinson SC, Tudor D, MacDonald G, Mansourian Y, Cooper PA. 2013. Repurposing mountain pine beetle blue wood for art through additional fungal colonization. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85:372–374.
- Sailer MF, van Nieuwenhuijzen EJ, Knol W. 2010. Forming of a functional biofilm on wood surfaces. *Ecological Engineering* 36:163–167.
- Sandak A, Burud I, Flø A, Thiis T, Gobakken LR, Sandak J. 2017. Hyperspectral imaging of weathered wood samples in transmission mode. *International Wood Products Journal* 8:9–13.
- Scheiding W, Flade P, Plaschkies K. 2012. Sandwich stacking – a smart innovation for thermal modification in open kilns. Ljubljana.
- Scheiding W, Kruse K, Plaschkies K, Weiß B. 2003. Untersuchungen zum Verhalten ausgewählter Bau- und Holzwerkstoffe gegenüber Schimmelpilzen. Abschlussbericht zum BMWi-Forschungsprojekt Reg.-Nr. 39/01.
- Schirp A, Farrell RL, Kreber B. 1999. Evaluation of New Zealand staining fungi for degradation of radiata pine. IRG/WP 99-10310.
- Schirp A, Farrell RL, Kreber B, Singh AP. 2003. Advances in understanding the ability of sapstaining fungi to produce cell wall-degrading enzymes. *Wood and Fiber Science*:434–444.
- Schmidt O. 2006. *Wood and Tree Fungi. Biology, Damage, Protection, and Use*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sekretariat des Internationalen Pflanzenschutzübereinkommens. 2019. ISPM 15. Regelungen für Holzverpackungsmaterial im internationalen Handel.
- Simmons EG. 1967. Typification of *Alternaria*, *Stemphylium*, and *Ulocladium*. *Mycologia*:67–92.

- Stange S, Steudler S, Delenk H, Werner A, Walther T, Wagenführ A. 2019. Influence of Environmental Growth Factors on the Biomass and Pigment Production of *Chlorociboria aeruginascens*. Journal of fungi (Basel, Switzerland) 5.
- Steinkamp H. 2000. Untersuchungen zur Einführung von Hygiene-Paletten aus Holz zum Einsatz in der Lebensmittelindustrie. Quakenbrück.
- Steitz A, Schmöllerl B, Pfabigan N, Grüll G, Gründlinger R. 2013. PCR-basierte Untersuchung an modifiziertem Holz zur Früherkennung von Bläue- und Schimmelbewuchs im Freiland. Holztechnologie:10–15.
- SWEDISH WOOD. Regarding use of blue- stained wood - Swedish Wood. Available at: <https://www.swedish-wood.com/wood-facts/about-wood/regarding-use-of-blue-stained-wood/>. Accessed January 23, 2023.
- Umweltbundesamt. 2019. Bläuepilze. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/blaeuepilze>. Accessed February 8, 2022.
- Uzunovic A, Byrne T, Gignac M, Yang D-Q. 2008. Wood-discoloration & their prevention. Special Publication SP-50.
- van Nieuwenhuijzen EJ, Sailer MF, Gobakken LR, Adan OC, Punt PJ, Samson RA. 2015. Detection of outdoor mould staining as biofinish on oil treated wood. International Biodeterioration & Biodegradation 105:215–227.
- Viitanen HA, editor. 2001. Factors affecting mould growth on kiln dried wood.
- Wangaard FW, Granados LA. 1967. The effect of extractives on water-vapor sorption by wood. Wood Science and Technology:253–277.
- Weiß B. 2021. Holzerstörende und holzverfärbende Pilze und Mikroorganismen. In: Scheiding W, Grabes P, Haustein T, Haustein V, Nieke N, Urban H, Weiß B, editors. Holzschutz. Holzkunde - Pilze und Insekten - Konstruktive und chemische Maßnahmen - Technische Regeln - Praxiswissen. 3rd ed. München: Hanser. pp 49–108.
- Welling J, Lambertz G. 2008. Temporärer Schutz von saftfrischem Schnittholz sowie hitzebehandeltem Verpackungsholz vor Schimmel und Bläue. Schlussbericht, FKZ 22006406. Hamburg.
- Williams JR, Dickinson DJ, Webber JF. 1998. Differential susceptibility of living and dead timber to colonisation by sapstain and mould fungi. IRG/WP 98-10288. Maastricht, The Netherlands.
- Wilms. 2022. Hygieneholz. Available at: <https://www.wilms.com/Hygiene/De/Innovationen.aspx>. Accessed February 9, 2022.
- Zhao B, Yu Z, Zhang Y, Qi C. 2019. Physical and mechanical properties of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) dyed with *Lasiodiplodia theobromae*. Journal of wood science 65:1–10.