



Ursachen und Vermeidung von Schimmel und Bläue auf Verpackungsholz

Expertise im Auftrag des
Bundesverbandes Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung
(HPE) e.V.

Hamburg, August 2010



Ursachen und Vermeidung von Schimmel und Bläue auf Verpackungsholz

Expertise im Auftrag des Bundesverbandes Holzpackmittel,
Paletten, Exportverpackung (HPE) e.V.

Autoren

Diplom Holzwirtin
Dr. Gerda Lambertz
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Leuschnerstr. 91
21031 Hamburg
Fon 0 40 · 7 39 62 – 610
Fax 0 40 · 7 39 62 – 699
gerda.lambertz@vti.bund.de

Diplom Holzwirt
Dr. Johannes Welling
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Leuschnerstr. 91
21031 Hamburg
Fon 0 40 · 7 39 62 – 634
Fax 0 40 · 7 39 62 – 699
johannes.welling@vti.bund.de

Holz wird, wie andere organische Materialien auch, unter bestimmten Bedingungen von Schimmel- und Bläuepilzen besiedelt, die den Markt- und Gebrauchswert des Holzes beeinträchtigen können. Für die Qualitätserhaltung von Holz und Holzprodukten ist die Kenntnis der spezifischen Lebensbedingungen dieser Organismen daher von großer Bedeutung. Sie ermöglicht nicht nur die Beurteilung von eingetretenen Schäden, sondern weist auch Wege zu deren Vermeidung auf. Die vorliegende Expertise erläutert dementsprechend zunächst die Ursachen und Probleme eines Schimmel- und Bläuebefalls und zeigt darauf aufbauend Möglichkeiten, die einen Befall und somit Material- und Wertverluste im Bereich des Verpackungsholzes vermeiden.

Die nachfolgenden Ausführungen stellen eine kurze Zusammenfassung wesentlicher Forschungsergebnisse dar. Auf eine detaillierte und wissenschaftliche Darstellung des Themenkomplexes wird aus Gründen der Überschaubarkeit und des Verständnisses verzichtet.

Inhalt

1. Überblick Schimmel und Bläue	3
2. Wachstumsbedingungen	5
3. Betroffene Holzarten	7
4. Auswirkungen	7
5. Befallsvermeidung	9
5.1. Chemischer Holzschutz.....	10
5.2. Trocknung.....	11
5.3. IPPC-Behandlung	14
5.4. Wiederbefeuchtung und Wiederbefall.....	15
5.5. Lagerung/ Logistik/Versand.....	16
6. Fazit	17
7. Literaturverzeichnis	18

1. Überblick Schimmel und Bläue

Schimmel und Bläue gehören zu den mikrobiell verursachten Verfärbungen im Holz, d. h. sie werden durch Mikroorganismen hervorgerufen ⁽¹⁾. Zu diesen Mikroorganismen zählen biologisch betrachtet mehr als 100 verschiedene Arten von Pilzen ^{(1), (2)}. Befallen werden lebende Nadel- und Laubbäume, Rohholz, Schnittholz, verarbeitetes Holz sowie Holzwerkstoffe ⁽¹⁾.

Die Holzverfärbenden Schimmel- und Bläuepilze leben von Nährstoffen, die in den Zellen des Splintholzes gespeichert sind und in seinem Kapillarwasser vorkommen. Das Kernholz, welches weniger Nährstoffe, dafür aber mehr pilzhemmende Extraktstoffe enthält, bleibt von einem Befall durch diese Organismen in der Regel vollständig verschont ⁽¹⁾.

Eine visuelle Unterscheidung zwischen Schimmel und Bläue ist nicht immer eindeutig möglich – oftmals tritt ein gleichzeitiger Befall beider Verfärbungen auf. Dennoch sollen nachfolgend die wesentlichen optischen Merkmale des jeweiligen Befalles dargestellt werden:

Schimmel zeigt sich an der **Holzoberfläche** als pudriger bis watte-artiger Belag, der intensiv gefärbt sein kann (meist grün bis blaugrün, schwarz oder rötlich). Die Verfärbungen reichen **nur wenige Millimeter in das Holz** hinein ⁽²⁾ und lassen sich **durch Abbürsten, leichtes Abhobeln oder Abschleifen von der Oberfläche vollständig entfernen**.



Bild 1: Schimmelbefall an nicht sachgerecht gelagertem Schnittholz

Bläuepilze wachsen sowohl **im Innern als auch auf der Oberfläche** des Holzes. Es handelt sich um blaue bis grauschwarze, radialstreifig orientierte Verfärbungen, die sich über den gesamten Splintholzbereich ausbreiten können und sich **nicht mehr entfernen lassen** ⁽¹⁾.



Bild 2: Bläuebefall

Im Allgemeinen sind drei verschiedene ökologische Gruppen von Bläuepilzen zu unterscheiden: primäre, sekundäre und tertiäre Bläue. Alle drei Gruppen können im Bereich des Verpackungsvollholzes vertreten sein ⁽¹⁾.

Tabelle 1: Ökologische Gruppierung der Bläuepilze (nach ¹)

Bläuetypen	Beschreibung
primäre Bläue (Stammholzbläue)	am stehenden Baum oder an frisch geschlagenen, noch nicht aufgearbeiteten Stämmen/Rundholz
sekundäre Bläue (Schnittholzbläue)	an Schnittholz, welches schlecht gestapelt oder nicht ausreichend getrocknet wurde
tertiäre Bläue (Anstrichbläue)	an bereits verarbeitetem, lackiertem oder unlackiertem Holz (bei Wiederbefeuchtung von bereits getrocknetem Holz)

2. Wachstumsbedingungen

Schimmel- und Bläuepilze sind allgegenwärtig – sei es durch einen akuten Befall oder durch die **in unserer Umgebungsluft permanent enthaltenen Pilzsporen**. Die Aktivität des Pilzwachstums ist allerdings an verschiedene physiologische Ansprüche gebunden. Die Sporenbildung und -Keimung sowie das Mycelwachstum (Wachsen des Vegetationskörpers) hängen neben dem Nahrungsangebot in hohem Maße von der Feuchtigkeit des Substrates (hier: Holz) und dessen pH-Wert, der umgebenden Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung und der Temperatur ab ^{(1), (3), (4)}. Bei optimalen Bedingungen kann ein Befall bereits nach 1-3 Tagen sichtbar in Erscheinung treten. Aus der nachstehenden Tabelle sind die minimalen, optimalen und maximalen Kennwerte der Wachstumsbedingungen für Schimmel und Bläue zu ersehen.

Tabelle 1: Physiologische Ansprüche holzverfärbender Pilze (zusammengefasst nach (1), (2), (3) und (4))

Einflussgrösse		Schimmel			Bläue		
		Min.	Opt.	Max.	Min.	Opt.	Max.
Temperatur	[°C]	- 15	21 – 43	60	- 3	18 - 29	40
Holzfeuchte	[%]	22	> 30	u_{\max}	20	30 - 120	u_{\max}
Wasseraktivität*	[]	0,7	0,9 - 1	-	~ 0,6	0,6 - 1	-
rel. Luftfeuchte	[%]	70	90 - 100	-	~ 60	60 - 100	-
pH-Wert	[-]	2	4,5 - 7	11	2	5 - 6	10,5

*Wasseraktivität a_w : Maß für frei verfügbares Wasser in einem Material. Der a_w -Wert multipliziert mit 100 entspricht der relativen Luftfeuchte einer stehenden Luftschicht direkt über dem Substrat. Diese Angabe wird für Schimmelpilze bevorzugt, weil hiermit die Feuchtesituation an der Grenzschicht zwischen Substrat und Luft beschrieben wird, in der z. B. Schimmelpilze auch tatsächlich siedeln.

Bei einem Unterschreiten der minimalen bzw. beim Überschreiten der maximalen Wachstumsparameter sterben die Pilze in der Regel nicht ab, sondern sie treten in ein Ruhestadium ein oder bilden Dauerformen (z.B. Sporen), die meist wesentlich höhere bzw. tiefere Temperaturen überdauern können als das aktive Pilzgeflecht.

Holzverfärbende Pilze benötigen für ihre Entwicklung eine Holzfeuchtigkeit von mindestens 20 %. Daneben begünstigt feucht-warme, unbewegte Luft das Wachstum. Bei stehender Luft können in der Grenzschicht an der Holzoberfläche hohe relative Luftfeuchten auftreten, die ein Wachstum von Schimmelpilzen auch dann fördern, wenn die durchschnittliche Holzfeuchte unter 20 % liegt, insbesondere bei einer Wiederbefeuchtung durch z.B. Kondenswasser oder Regenwasser.

Schimmelpilze sind stets ein Indikator für hohe Feuchtigkeitsverhältnisse im Holz bzw. in der Grenzschicht zwischen Holzoberfläche und der umgebenden Luft.

Aus den aufgeführten physiologischen Ansprüchen der Schimmel- und Bläuepilze an ihr Substrat wird deutlich, aus welchen Gründen es im Bereich des Verpackungsholzes zu einem Befallsproblem kommen kann:

1. Bei dem Ausgangsmaterial handelt es sich meistens um saftfrisches (> 80 %), nasses (50-80 %) oder feuchtes (30-50 %) Holz. Material mit derartigen hohen Feuchtegehalten stellt ein ideales Nährsubstrat für Schimmel- und Bläuepilze dar.
2. Die Temperaturen während der Verarbeitung, der Lagerung und des Transportes des Verpackungsholzes liegen meist innerhalb des optimalen Wachstumsbereiches der Pilze. Vor allem der Versand in Containern schafft ideale Bedingungen für einen Befall: keine Luftbewegung, hohe Luftfeuchte (auch durch Restfeuchte im Holz) sowie erhöhte Temperaturen (je nach Versandgebiet).
3. Die kompakte Stapelung des frisch eingeschnittenen Holzes (ohne Stapelleisten) verhindert eine Luftbewegung um das Material.
4. Die in der deutschen Verpackungsindustrie zum Einsatz kommenden Holzarten weisen im Allgemeinen einen für das Pilzwachstum optimal geeigneten pH-Wert im Bereich von pH 5 bis 6 auf ⁽⁵⁾.

3. Betroffene Holzarten

Unter geeigneten Bedingungen bieten Hölzer sämtlicher Arten ein geeignetes Nährsubstrat für holzverfärbende Pilze. Kernholz bzw. Hölzer mit einem hohen Anteil an Inhaltsstoffen zeigen jedoch eine deutlich höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber einem Befall.

Von den in der deutschen Verpackungsindustrie verwendeten Holzarten wird vor allem das Splintholz der Kiefer von Bläue befallen, da dieses im Vergleich zu anderen hiesigen Holzarten (z.B. Fichte, Tanne) zusätzliche Merkmale besitzt, die ein erhöhtes Befallsrisiko bewirken: Besonderheiten im zellulären Aufbau (Fenstertüpfel) sowie ein hoher Gehalt an potentiellen Nährstoffen (sehr fettreich) führen zu besseren Wachstumsbedingungen als bei den übrigen im Verpackungsbereich verwendeten Holzarten ^{(5), (6)}. Neben der Kiefer zeigen auch Pappel, Ahorn und Birke eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Bläuepilzen (allesamt sehr „fettreiche“ Holzarten) ⁽⁵⁾.

4. Auswirkungen

Das Auftreten von Schimmel- und Bläuepilzen geht einher mit einer **deutlichen Verfärbung** des Holzes. Im Gegensatz zu den holzerstörenden Pilzen erfolgt durch Schimmel und Bläue jedoch **keine oder nur eine geringe Zersetzung der Holzsubstanz** aufgrund von Zellwandabbau. Der vielfach verwendete Begriff „Bläufäule“ ist somit falsch. Durch einen Befall bleibt die technische Gebrauchstauglichkeit demnach weitgehend unbeeinflusst. Dennoch kann das Holz durch die Verfärbungen eine beträchtliche Wertminderung aus optischer Sicht erfahren. Aus hygienischer Sicht kann schimmelbefallenes Holz ein gesundheitliches Risiko für den Menschen darstellen, da die in der Umgebung des Befallsherdes vorhandenen Schimmelpilzsporen zu Reizungen der Atemwege und allergischen Reaktionen führen können ⁽¹⁾. Doch nicht jeder Schimmelpilz birgt gleichsam eine gesundheitliche Gefahr: in vielen Bereichen des täglichen Lebens werden Schimmelpilze bewusst eingesetzt, wie beispielsweise zur Veredelung von Lebensmitteln

(Käse, Salami) oder zur Herstellung von Medikamenten (Antibiotika). Das Potential einer möglichen Gefährdung hängt demnach von der Schimmelart ab, der Intensität des Befalls, der Höhe der Sporenkonzentration und der Sensibilität des einzelnen Menschen.

Pilzfreie Holzverpackungen (v.a. Paletten) stellen bei ordnungsgemäßigem Gebrauch bzw. Transport- und Lagerbedingungen keine Gefahr für das Verpackungsgut dar (s.u.). In Bezug auf bereits befallenes Holz können hinsichtlich eines Schimmelbefalls der zu transportierenden Ware im Wesentlichen zwei Szenarien unterschieden werden:

1. Holzverpackung und Ware sind ausreichend trocken

Ein aktives Wachstum eines bereits auf der Holzverpackung vorhandenen Schimmelpilzbefalls ist i.d.R. ausgeschlossen. In diesem Fall kann jedoch eine oberflächliche Kontamination des auf der Palette gelagerten Gutes mit Sporen erfolgen, die entweder durch direkten Kontakt oder über Luftströmungen von einer verschimmelten Palette o.ä. auf die Warenverpackung/Verpackungsgut übertragen werden. In extremen Fällen kann die Ware/Warenverpackung ein staubiges Aussehen annehmen, was zu Reklamationen führen kann. Die Pilze selbst können wegen des Wassermangels nicht auswachsen, so dass der Sporenstaub durch einfaches Abwischen entfernt werden kann. Allerdings sollte das Verstauben der Verpackungen aus hygienischen Gründen vermieden werden. Bei einer entsprechenden Befeuchtung der mit Sporenstaub besetzten Warenverpackung und dem Vorliegen günstiger Umgebungsbedingungen (kaum Luftbewegung, keine Möglichkeit des Abtrocknens, Wärme etc.) ist ein Auskeimen der Sporen unvermeidbar.

2. Holzverpackung und/oder Ware sind feucht

Enthalten Holzverpackung und/oder Ware noch ausreichende Restfeuchte (> 20%), so ist ein aktives Wachstum der Schimmelpilze unter geeigneten Umgebungsbedingungen (kaum Luftbewegung, keine Möglichkeit des Abtrocknens, Wärme etc.) unvermeidbar.

Der Feuchteübergang kann entweder an der direkten Kontaktstelle zwischen feuchtem Packmittel und trockener Ware bzw. zwischen trockenem Packmittel und feuchter Ware erfolgen oder aber durch entsprechende Transportbedingungen (z.B. Kondensationsfeuchte im Containertransport) erfolgen. Die bereits auf der Holzverpackung vorhandenen oder aber die stets in der Umgebungsluft vorhandenen Schimmelpilzsporen verbreiten sich in der Folge rasch und in großer Anzahl auch auf der Ware bzw. ihrer Verpackungsoberfläche.

5. Befallsvermeidung

Zur Vermeidung von finanziellen Verlusten müssen Anstrengungen unternommen werden, um einen Befall des Holzverpackungsmaterials durch Schimmel und Bläue beizeiten zu vermeiden.

Insgesamt behindert Zugluft die Entwicklung eines Befalls durch Schimmel- und Bläuepilze. Zum einen führt die Luftbewegung zu einer raschen Abtrocknung der Oberfläche und zum anderen reagieren die Pilze auch bei einer hohen relativen Luftfeuchte empfindlich auf Zugluft.

Bei **Rundholz** empfiehlt sich bis zum Einschnitt eine Lagerung in unverletzter Rinde an einem schattigen Platz. In den Wintermonaten (November bis März) können die Stämme mehrere Monate in dieser Form gelagert werden. In der übrigen Jahreszeit sollte das Holz umgehend nach Fällung abtransportiert und eingeschnitten werden (bei warmer Witterung binnen weniger Tage bis Wochen). Für einen zusätzlichen, kostengünstigen Schutz der Schnittflächen (Fällflächen) an Rundholzstämmen gibt es derzeit noch keine ausreichend gesicherten Kenntnisse.

Bei **Schnittholz** sind grundsätzlich zwei Maßnahmen der Befallsvermeidung zu unterscheiden: eine chemische Behandlung oder aber die Verschlechterung der Lebensbedingungen für die holzverfärbenden Pilze ohne chemische Schutzmittel. Von größter Relevanz ist hier die Trocknung des Holzes.

Beiden Maßnahmen gemein ist, dass nur ein Schutz vor zukünftigen Verfärbungen sichergestellt werden kann – es handelt sich somit um einen vorbeugenden Schutz. Ein

bereits vorhandener Befall kann nicht entfernt/bekämpft werden – er wird lediglich in seiner Ausbreitung gestoppt. Es ist daher erforderlich, dass ein Schutz des Holzverpackungsmaterials bereits unmittelbar nach dem Einschnitt erfolgen muss. Eine Lagerung zwischen Einschnitt und Behandlung ist – insbesondere im Sommer – unbedingt zu vermeiden (Zeitfenster im Sommer maximal 1 Tag).

5.1. Chemischer Holzschutz

Zu unterscheiden sind Holzschutzmittel, die gegen holzerstörende Pilze wirksam sind und solche, die speziell gegen holzverfärbende Pilze wirken. Auch ist zu beachten, dass nicht jedes Bläueschutzmittel gleichzeitig auch einen optimalen Schutz gegen Schimmelbefall darstellt, so dass sich ein Schimmelpilzbefall bei ausreichenden Feuchtebedingungen auch auf frisch mit Bläueschutzmittel behandelten Holzoberflächen ausbreiten kann. Vorbeugend wirkende Mittel müssen daher speziell auf diese Organismengruppe abgestimmt sein.

Die derzeit auf dem Markt befindlichen chemischen Schimmel- und Bläueschutzmittel sind zum überwiegenden Teil temporär wirksam, d.h. je nach Lager- und Gebrauchsbedingungen können sie einen Befall für einige Wochen bis zu mehreren Monaten verhindern. Da diese Mittel in der Regel nicht im Holz fixieren, sollte das behandelte Holzverpackungsmaterial nicht unmittelbar der Witterung ausgesetzt werden, um Schutzmittelverluste und einen Eintrag der chemischen Komponenten in die Umwelt zu vermeiden. Es empfiehlt sich daher die Lagerung behandelter Ware im Unterstand.

Aufgrund der erhöhten Anfälligkeit von feuchtem Holz sollte eine chemische Schutzbehandlung unmittelbar nach dem Einschnitt erfolgen.

Die chemische Schutzmittelbehandlung bietet gegenüber den nicht chemischen Maßnahmen einige Vorteile, welche den Investitionsaufwand für ein Tauchbecken und die Kosten des Schutzmittels rechtfertigen: einfache Handhabung, unmittelbare Einbindung einer Behandlung in den Produktionsprozess, Kosten- und Zeitersparnis gegenüber einer technischen Trocknung, platzsparende Lagerung im dicht gepackten Stapel. Demgegenüber stehen jedoch einige erhebliche Nachteile: je nach Schutzmittel kann es zu

Einschränkungen bei der Entsorgung behandelter Holzverpackungen kommen, da diese nicht mehr als unbehandeltes Holz deklariert werden können. Die zugelassenen Schutzmittel müssen den Anforderungen des Arbeitsschutzes genügen, so dass die Verarbeitung des behandelten Holzes sowie der bestimmungsgemäße Gebrauch der Holzpackmittel als unbedenklich eingestuft werden kann. Bei der Herstellung von Holzpackmitteln gemäß den Richtlinien bestimmter Verbände (z.B. Epal/UIC) dürfen nur solche Mittel zur Anwendung kommen, die auch in den Vorschriften dieser Vereinigung gelistet sind; viele Abnehmer akzeptieren nur Paletten aus unbehandeltem Holz (z.B. Chemiepaletten). Generell ist zu bedenken, dass nicht-fixierende Mittel wieder aus dem Holz herausgelöst werden können und somit auch mit dem zu transportierenden Gut in Kontakt kommen könnten. Der Übergang eines chemischen Holzschutzmittels auf das Transportgut (z.B. Lebensmittel, Kinderspielzeug) stellt ein nicht zu definierendes Risiko dar und kann zu einer erheblichen Schädigung des Kunden/Nutzers führen.

5.2. Trocknung

Die Besiedelung des Holzes durch Bläue- und Schimmelpilze ist an bestimmte physiologische Ansprüche gebunden (siehe Kapitel 2). Insbesondere die im Holz vorliegende Holzfeuchte sowie die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung sind von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der holzverfärbenden Pilze. Wird diesen dem Pilzwachstum förderlichen Bedingungen in geeigneter Weise und vor allem **unverzüglich** begegnet, können Schäden vermieden oder entscheidend gemindert werden. Vor allem im Frühjahr und im Spätsommer bedeutet dies, dass die Trocknung des Holzes unmittelbar nach dem Einschnitt erfolgen muss (1 – max. 3 Tage). In der Praxis ist dies jedoch aus logistischen Gründen häufig nicht zu realisieren (Zwischenlagerung bis zur Weiterverarbeitung/Auslieferung, Transportzeit, Lagerung bis zur Auslastung der Trockenkammer). In zahlreichen Untersuchungen am von-Thünen Institut in Hamburg konnte nachgewiesen werden, dass durch eine temporäre Änderung der Oberflächen-Eigenschaften des Holzes (pH-Wert) der kritische Zeitraum bis zum Einsetzen der Trocknung bzw. bis zum eigenständigen Abtrocknen der Holzoberfläche

befallsfrei überbrückt werden kann⁽⁷⁾. Das Verfahren wird derzeit (Stand August 2010) in einem Industrieversuch auf seine Praxistauglichkeit geprüft.

Alle Maßnahmen, die auf dem Entzug von Wasser oder dem Fernhalten des Wassers vom Holz basieren, nutzen natürliche Regelmechanismen zur Vermeidung eines Schimmel- bzw. Bläuebefalls aus. Kurzfristiges Ziel einer jeden Maßnahme ist das rasche Abtrocknen der Holzoberfläche, um eine Pilzbesiedelung zu vermeiden. Langfristig müssen am Ende der Trocknung Holzfeuchten von unter 20 % erreicht werden, um einen Befall sicher vermeiden zu können. Da bei mittelfristiger Lagerung ohne ausreichende Belüftung (dichte Stapelung für 2-4 Wochen) auf sehr vielen Holzarten bereits bei Holzfeuchten zwischen 16% und 22% verschiedene Schimmelpilze wachsen können, empfiehlt sich das Trocknen auf eine Endfeuchte von < 16 %.

Es kann unterschieden werden zwischen natürlicher und technischer Trocknung. Beide Verfahren beeinflussen – im Gegensatz zu vielen chemischen Schutzmittelbehandlungen – weder den Gebrauch noch die spätere Entsorgung der fertigen Palette. Die Trocknung des Materials verursacht keine anhaltend vorbeugende Wirkung, so dass das Holz bei jeder Wiederbefeuchtung erneut verschimmeln kann (siehe Kapitel 5.3). Das Holzverpackungsmaterial ist daher nach der Trocknung so zu lagern, dass der Zutritt von Wasser soweit als möglich vermieden wird. Die Trocknung des Materials stellt somit einen sicheren und gleichzeitig auch gesundheitsfreundlichen Schutz vor einem Befall durch holzverfärbende Pilze dar.

Natürliche Trocknung

Eine natürliche Trocknung ist nur unter optimalen Bedingungen, also bei sehr guter Belüftung **und** trockener Witterung oder niedrigen Temperaturen, möglich. Bei sehr niedrigen Temperaturen (unter 5°C bis 10°C) können dicht gepackte Stapel je nach Witterung bis zu mehreren Wochen ohne Schäden gelagert werden. Bei feuchtwarmer Witterung reicht meist schon ein Tag aus, um einen deutlich sichtbaren Bläue- bzw. Schimmelbefall hervorzurufen. Aus diesem Grund sollten die feuchten Bretter in jedem Fall mit ausreichend dicken Stapelleisten (2 cm) gestapelt, nicht direkt auf dem Boden stehend

auf ausreichend hohen Unterlagen (> 30 - 50 cm) und sehr gut belüftet gelagert werden, damit die Brettoberfläche rasch abtrocknen kann. Da Zugluft die Entwicklung von Schimmel und Bläue verhindert bzw. verzögert, sind die Bretterstapel an solchen Stellen zu lagern, an denen der Wind ungehindert hindurchstreichen kann. Aus diesem Grund ist eine Trocknung im Freien unter Dach einer Trocknung in einer Halle vorzuziehen. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass bei feuchtwarmer Witterung auch beim Einsatz von Stapelleisten und guter Belüftung das Auftreten von Schimmelschäden nicht immer vermieden werden kann.

Bei der natürlichen Trocknung ist ein gewisser logistischer Aufwand (Planung und Einhaltung kurzer Transport- und Lagerzeiten des feuchten Holzes, Auswahl geeigneter Lagerplätze, Stapelweise) sowie die Investition in überdachte, aber offene Lagerflächen notwendig. Die benötigte Trocknungszeit ist hierbei ein nicht zu unterschätzender Faktor, der in die Wirtschaftlichkeits- und Logistiküberlegungen (Kapitalbindung und Lieferzeiten) einbezogen werden muss.

Technische Trocknung

Die technische Trocknung nutzt dieselben Regelmechanismen wie die natürliche Trocknung, erfordert aber in der Regel höhere Investitionen (Trockenkammer) und verursacht höhere Kosten (Energie). Während die Logistik hier ebenso gefragt ist, um möglichst kurze Transport- und Lagerzeiten des feuchten Holzes vor der Trocknung zu garantieren, kann die Trocknungszeit erheblich reduziert werden, wodurch die höheren Kosten teilweise kompensiert werden können. Zudem ist die technische Trocknung weitgehend witterungsunabhängig, sie ermöglicht auch bei feucht warmer Witterung eine rasche Trocknung des Holzes und garantiert damit einen guten Schutz.

Das Trocknungsprogramm muss entsprechend der Holzart, der Dimension und der Trockenkammer gewählt werden. Die Holzfeuchte nach der technischen Trocknung sollte 20% in keinem Fall übersteigen.

Bei ungünstigen Bedingungen, insbesondere in den ersten 48 Stunden einer Trocknung (geringe Strömungsgeschwindigkeit bei hoher Luftfeuchte und niedriger

Trocknertemperatur), kann sich jedoch auch in der Kammer bei Temperaturen unter 50°C ein Schimmelbefall auf der noch feuchten Brettoberfläche bilden.

Technisch getrocknetes Schnittholz mit Holzfeuchten von über 20 % sollte unbedingt gut belüftet gelagert werden (Möglichkeit des Nachrocknens), da sich bei dieser Holzfeuchte ansonsten in der ruhenden Luftschicht an der Brettoberfläche eine für ein Schimmelwachstum noch ausreichende hohe relative Luftfeuchte einstellt.

5.3. IPPC-Behandlung

Von den zwei in der ISPM-15-Richtlinie zulässigen Behandlungsverfahren zur Entwesung von Verpackungsholz für Exportzwecke ist in Deutschland nur eine Hitzebehandlung des Materials statthaft; eine Begasung mit Methylbromid ist aus umwelt- und gesundheitlichen Gründen hierzulande verboten⁽⁸⁾.

Bei der Hitzebehandlung muss eine Mindesttemperatur von 56°C über einen Zeitraum von mindestens 30 Minuten in der Mitte des größten Querschnittes des Holzes einwirken, um sicherzustellen, dass alle im Holz befindlichen Schadorganismen (v. a. Insektenlarven) durch Denaturierung (Gerinnung) des Körpereiwisses abgetötet werden. Die vorgegebenen Parameter implizieren nicht zwangsläufig eine vollständige technische Trocknung des Materials⁽⁹⁾. Nach einer reinen Hitzebehandlung (ohne weitere Trocknung) ist die Holzfeuchte daher noch annähernd so hoch wie vor der Behandlung; das Verfahren dauert nur wenige Stunden⁽¹⁰⁾.

Die Vorteile einer reinen Hitzebehandlung gegenüber einer technischen Kammertrocknung zur Erfüllung des ISPM 15 liegen daher klar in der enormen Zeit- und Kosteneinsparung. Allerdings bietet das durch die ausbleibende Trocknung des Materials oft noch sehr feuchte Holz bei entsprechend förderlichen Umgebungsbedingungen (Wärme, keine Möglichkeit des Trocknens, Lagerung in geschlossenen Paketen, Containersend) einen idealen Nährboden für Schimmel- und Bläuepilze. Berichte aus der Praxis und wissenschaftliche Untersuchungen haben zudem ergeben, dass frisches, hitzebehandeltes (und ungetrocknetes) Holz wesentlich schneller und stärker von Schimmel und Bläuepilzen besiedelt wird als nicht hitzebehandeltes Holz⁽⁷⁾. Die einzige Möglichkeit, das

Exportverpackungsholz dennoch vor einem Pilzbefall zu schützen, liegt derzeit in einer vollständigen und zügigen Trocknung des Materials auf Holzfeuchten von unter 20%. Nur so ist ein schneller und weitgehend effektiver Schutz vor Pilzbefall gewährleistet.

5.4. Wiederbefeuchtung und Wiederbefall

Grundsätzlich ist es für das Auftreten eines Schimmelbefalls unerheblich, ob das Holz nach dem Einschnitt noch nicht getrocknet wurde oder ob es wiederbefeuchtet wird. Unabhängig davon, ob das Material zuvor sachgemäß getrocknet wurde, ist bei einer Wiederbefeuchtung durch Niederschläge, Spritzwasser, Kondensationswasser oder sehr hohen relativen Luftfeuchten (= hohe Ausgleichsfeuchte im Holz) und bei entsprechenden Temperaturen und geringer Luftbewegung ein Neu- oder Wiederbefall durch Schimmelpilze unvermeidbar.

Schimmelschäden nach Wiederbefeuchtung können vermieden werden, indem sofort für eine ausreichende Belüftung des Materials gesorgt wird, so dass die Holzoberflächen unverzüglich abtrocknen können. Die Belüftung ist fortzusetzen, bis das Holz eine Feuchte von maximal 20 % (weniger wäre besser) erreicht. Hierbei ist die Holzfeuchte an der ungünstigsten Stelle zu messen (z.B. bei Paletten die Palettenklötze sowie die Bretter im Bereich der Palettenklötze). Die Lagerung in einer geschlossenen Halle ist in solchen Fällen zu vermeiden, da hier in der Regel keine ausreichende Luftströmung herrscht und das Holz nicht rasch genug abtrocknen kann.

Bei mit Schutzmitteln behandelten Paletten ist zu beachten, dass die Mittel i.d.R. nicht auswaschbeständig sind. Daher muss mit zunehmender Gebrauchsdauer mit einer Abnahme der Schutzwirkung gerechnet werden. Dies gilt insbesondere für Paletten mit einer hohen Feuchtebelastung (Lagerung im Freien ohne Dach, Kontakt mit Spritzwasser).

5.5. Lagerung/ Logistik/Versand

Holz wird durch Winterfällung, rasche Abfuhr aus dem Wald und baldigen Einschnitt mit zügiger Austrocknung (Lufttrocknung oder technische Trocknung) sowie sorgfältiger Lagerung des Schnittholzes bzw. der aus frischem Holz hergestellten Paletten vor einem Bläuebefall geschützt. Durch den Einsatz spezifischer chemischer Mittel – sofern zugelassen - kann ein vorbeugender Schutz des frisch eingeschnittenen Holzes bis zu dessen Trocknung erreicht werden. Die Transportbedingungen, unter welchen das Verpackungsholz zum Einsatz kommt, erweisen sich oft als ausgesprochen günstig für einen Pilzbefall. Das meist unzureichend getrocknete Holz steht in den unterschiedlichen Transportmitteln (LKW, Schiff, Container etc.) und während der Transportvorgänge für längere Zeit unter Luftabschluss (teilweise folienverschweißt), so dass kein Abtrocknen des Materials möglich ist. Vor allem der Überseeversand von Holzverpackungsmaterial, bei dem verschiedene Klimaregionen durchquert werden, bietet optimale Bedingungen für ein Schimmelwachstum (Wärme, Kondenswasserbildung, keine Luftbewegung). Vor der Verwendung von Holzverpackungsmaterial in Containern/geschlossenen Behältern bzw. bei der Lagerung in geschlossenen unzureichend belüfteten Räumen oder im Fall von voll eingeschweißten Transporteinheiten müssen die Paletten daher auf 16% Holzfeuchte (entspricht bei 20°C etwa 81 % relative Luftfeuchte an der Holzoberfläche) oder weniger heruntergetrocknet werden, um eine Schimmelbildung während des Transportes zu vermeiden. Wird allerdings auf diese Weise feuchtes Verpackungsgut (Gemüse, Ton etc.) transportiert oder herrscht per se eine sehr hohe relative Luftfeuchte beim Transport, lässt sich ein Befall trotz vorheriger Trocknung nicht immer vermeiden.

6. Fazit

Die Verwendung von ausreichend trockenem Holz bildet die Grundlage der Vermeidung von einem Befall durch Schimmel und Bläue. Eine Gewährleistung von pilzfreiem Holz macht daher die Trocknung des Materials unumgänglich.

Ein Befall von Holz für Verpackungszwecke oder von Holzverpackungen durch holzverfärbende Pilze kann insbesondere durch eine frühzeitige technische Trocknung verhindert werden. Bei hoher Feuchte von Schnittholz oder fertigen Holzverpackungen kann ein Befall vielfach durch gute und unbehinderte Belüftung vermieden werden.

7. Literaturverzeichnis

1. **Schmidt, O.** *Wood and tree fungi - biology, damage, protection and use.* Berlin : Springer Verlag, 2006.
2. **Volkmer, T.** *Schimmelpilze auf beschichteten Holzfassaden: chemische und physikalische Einflussfaktoren.* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Brsg.: Dissertation Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften , 2007.
3. **Reiß, J.** *Schimmelpilze - Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung.* Berlin/Heidelberg : Springer Verlag, 1998.
4. **Sedlbauer, K.** *Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen.* Universität Stuttgart : Dissertation Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, 2001.
5. **Wagenführ, R.** *Holzatlas.* Leipzig : Fachbuchverlag, 2007.
6. **Schmidt, O.** *Schimmel- und Bläuwachstum.* Hamburg : Persönliche Mitteilung vom 12. Juni, 2005.
7. **Lambertz, G.** *Temporäre Inhibierung mikrobieller Verfärbungen an saftfrischem, hitzebehandeltem Kiefern-Schnittholz (Pinus sylvestris L.) vor der Trocknung.* Universität Hamburg: Dissertation im Department Biologie der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, 2009.
8. **Uteß, M.** *Chronologie der Verwendung von Methylbromid zur Begasung von Containern mit Holzpaletten und Verpackungsmaterial aus Holz.* Persönliche Mitteilung, 27.08.2008.
9. **IPPC ISPM No. 15: Guidelines for regulating wood packaging material in international trade (2002) [with modifications to Annex I (2006)].** FAO, Rome, 2006. URL: https://www.ippc.int/cds_upload/1152091663986_ISPM_15_2002_with_Annex1_2006_E.pdf. Stand: 22.07.2008.
10. **Lambertz, G.** *Untersuchungen zur Entwicklung von Schimmel und Bläue auf phytosanitär behandeltem Schnittholz.* Diplomarbeit, Fachbereich Biologie. Universität Hamburg, 2005.