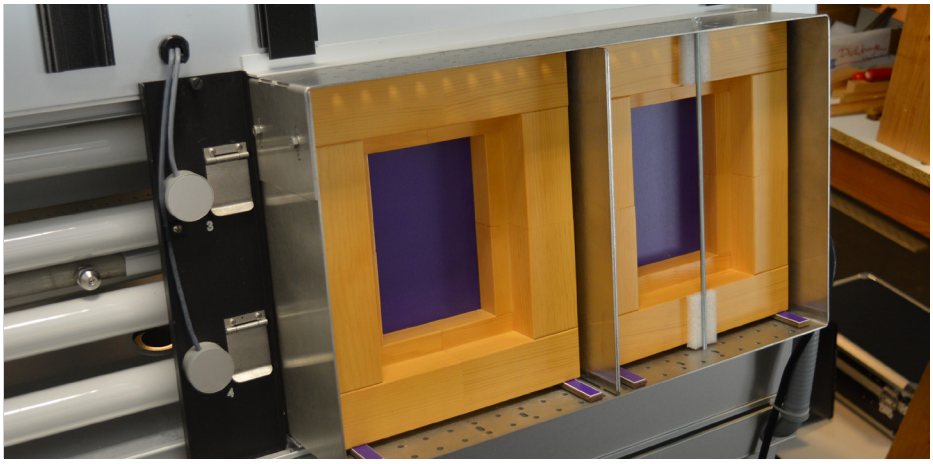
ENDBERICHT

TimberLoop

AP 5: Holzschutzmittelfreie Kreislaufführung



HOLZ FORSCHUNG AUSTRIA

TimberLoop

Holzschutzmittelfreie Kreislaufführung

Endbericht zum AP5

HFA-Nr.: 52500

Gefördert durch die FFG

Autor:innen

Mag.ª N. Pfabigan

Dipl. HTL Ing. M. Truskaller

Projektmitarbeiter/innen

B. Brunnhuber, G. Grüll, L. Orlowski, K. P. Schober,

M. Senoner, A. Steitz, M. Svoboda F. Tscherne

Beteiligte Firmen

Adler-Werk Lackfabrik Johann Berghofer GmbH & Co KG

Gaulhofer Industrie-Holding GmbH

Katzbeck – FensterGmbH Austria

Waldfonds
Republik Österreich

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Land- und Forstwirtschaft, Regionen
und Wasserwirtschaft

FFG
Forschung wirkt.

Wien, April 2025

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 8

2 Notwendigkeit für chemischen Holzschutz 9

3 Risikobewertung 11

3.1 Reklamationsstatistiken der Projektpartner 11

3.2 Inspektion von Holz/Alu-Fenstern 13

3.2.1 Bläue und Fäulnisschäden 14

3.2.2 Abwitterung der Beschichtung 16

3.2.3 Holzfeuchte 18

3.2.4 Zusammenfassung 18

3.3 Vorprojekt Balkonmonitoring 19

3.3.1 Konstruktion und Beschichtung 19

3.3.2 Zusammenfassung 20

3.4 Begutachtung des Aussichtsturm am Pyramidenkogel 22

3.4.1 Ergebnisse der Begutachtung 26

3.4.2 Zusammenfassung 30

3.5 Begutachtung einer Wohnhausanlage in Wien 1220 30

3.5.1 Holzfassaden 31

3.5.2 Wintergärten und Holzsäulen 32

3.5.3 Fenster 34

3.5.4 Zusammenfassung 36

4 Befallsprozess und Feuchteschutz 37

4.1 Versuche mit holzzerstörenden Pilzen 37

4.1.1 Material und Methoden 37

4.1.2 Ergebnisse 39

4.2 Versuche mit holzverfärbenden Pilzen 41

4.2.1 Material und Methoden 41

4.2.2 Ergebnisse 43

4.3 Versuche zur Wasseraufnahme von Holzarten 47

4.3.1 Material und Methoden 47

4.3.2 Ergebnisse 48

4.3.3 Zusammenfassung 50

5 Konzeptentwicklung und Validierung zur Befallsvermeidung 51

5.1.1 Material und Methoden 51

5.1.2 Ergebnisse 54

5.1.3 Zusammenfassung 57

6 Grundlagen für den Re:use (Handlungsempfehlungen) 57

6.1.1 Statisch tragende Holzbauelemente 59

6.1.2 Maßhaltige Bauteile 59

7 References 63

8 Abbildungsverzeichnis 65

9 Tabellenverzeichnis 67

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projektes TimberLoop wurden im AP 5 die technischen Grundlagen für einen Verzicht auf chemischen Holzschutz für Holzprodukte im bewitterten Außenbereich, ohne ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt erforscht. Dies im Hinblick darauf, dass eine Einbindung von mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz in eine Kreislaufführung nicht möglich ist [1] [2] [3], dieses Holz keiner hochwertigen Nachnutzung zugeführt werden kann und daher auch nicht für eine nachhaltige Rohstoffversorgung verfügbar ist. Ohne Holzschutzmittel werden jedoch derzeit übliche Sicherheitskonzepte verlassen, was zu einem Risiko einer Schädigung von Holzbauteilen durch Pilze führen kann. Die Bewertung dieses Risikos erfolgte anhand von Ergebnissen aus Vorprojekten, Literaturrecherche, Begutachtungen von Holzobjekten und von Reklamationsstatistiken der Projektpartner:innen. Als häufige Schwachstellen wurden dabei die Missachtung der Regeln des konstruktiven Holzschutzes, mangelnde Wartung und Instandsetzung vorhandener Beschichtungen und/oder offener Fugen identifiziert.

Beschichtungen sind in der Lage die Feuchteaufnahme von Holz zu begrenzen. Einem Befall durch holzzerstörende Pilze kann eine wirkstofffreie Beschichtung allein, bei Bauteilen, die einer Gefährdung längerfristiger Durchfeuchtung ausgesetzt sind, nicht begegnen. Höhere Schichtstärken bewirken allerdings einen gewissen zeitlichen Schutz. Höhere Schichtstärken sind auch gegen das Durchwachsen von Bläuepilzen gefordert. Hier stellen Luftblasen, Verletzungen wie kleine Beschichtungsrisse oder Stellen mit verminderter Schichtdicke Eintrittspforten dar. Laborversuche an komplexen Holzbauteilen führten bei den Fensterrahmenecken im Zuge der Schnellbewitterung zu Verformungen und Öffnungen der Eckverbindungen, die weit über ein übliches Erscheinungsbild in der Praxis hinausgingen und machten eine biologische Untersuchung im Task Befallsprozess obsolet.

Aus den gewonnenen Kenntnissen der effektiven Vorgänge bei der Etablierung von Pilzen auf und in Holzprodukten und der Bewertung des Risikos eines Schädlingsbefalls wurden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Durch sorgfältige Planung, Materialwahl und Ausführung von Bauwerken können trotz extremer Exposition von Holzbauteilen und Verzicht auf vorbeugenden chemischen Holzschutz und Beschichtung, Fäulnisschäden vermieden werden. Bei maßhaltigen Bauteilen kann eine holzschutzmittelfreie Beschichtung, in Verbindung mit einer guten Konstruktion und Abdichtung kritischer Stellen wie der Brüstungsfuge, funktionieren. Dazu muss gewährleistet sein, dass die Feuchtebelastung tatsächlich immer nur kurzfristig ist und dass die Beschichtung dauerhaft intakt und gewartet ist. Kritische Einbausituationen, bei denen eine Gefährdung längerfristiger Durchfeuchtung besteht, werden mit einer wirkstofffreien Beschichtung nicht bewältigbar sein. Pilze sind sehr potente Lebewesen, die viele Materialien durchwachsen können, so auch Beschichtungen.

Auf Basis der vorliegenden Datenlage kann keine allgemeine Empfehlung für einen Verzicht auf chemischen Holzschutz bei maßhaltigen Bauteilen gegeben werden. Auch wenn es

Einsatzbereiche gibt, wo auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden kann, so gibt es auch Bedingungen, wo das Risiko für Schäden bei Verzicht auf chemischen Holzschutz als zu hoch einzuschätzen ist. Dem sollte und ist Rechnung zu tragen. Es besteht Forschungsbedarf an einer umfassenden Datenlage über die realen Feuchtelasten bei den unterschiedlichen Einbausituationen und diese mit dem Risiko eines Pilzbefalls zu korrelieren. Die erarbeiteten generellen Lösungskonzepte sind abgestimmt und angepasst an die jeweiligen Endprodukte und die jeweiligen Beanspruchungen, einer praktischen Belastungsprobe zu unterziehen.

SUMMARY

As part of the TimberLoop project, WP 5 researched the technical basis for dispensing with chemical wood preservation for wood products in weathered outdoor areas, without constant contact with soil and/or water. This is because it is not possible to integrate wood treated with wood preservatives into a circular system [1] [2] [3], that this wood cannot be reused for high-quality purposes and is therefore not available for a sustainable supply of raw materials. Without wood preservatives, however, currently common safety concepts are abandoned, which can lead to a risk of damage to wooden components by fungi. This risk was assessed on the basis of results from preliminary projects, literature research, assessments of wooden objects and complaint statistics from the project partners. The disregard of the rules of structural wood preservation, lack of maintenance and repair of existing coatings and/or open joints were identified as frequent weak points.

Coatings can limit the moisture absorption of wood. An infestation by wood-destroying fungi cannot be countered by an active ingredient-free coating alone, in the case of components that are exposed to the risk of long-term moisture penetration. However, higher layer thicknesses provide a certain degree of protection over time. Higher layer thicknesses are also required to prevent blue stain fungi from growing through. Here, air bubbles, injuries such as small coating cracks or areas with reduced layer thickness represent entry points. Laboratory tests on complex wooden components led to deformations and openings of the corner joints in the window frame corners during rapid weathering, which went far beyond a usual appearance in practice and made a biological examination in the task infestation process obsolete.

Recommendations for action were derived from the knowledge gained of the effective processes involved in the establishment of fungi on and in wood products and the assessment of the risk of pest infestation. Through careful planning, material selection and construction, rot damage can be avoided despite extreme exposure of wooden components and the avoidance of preventive chemical wood preservation and coating. For dimensionally stable components, a wood preservative-free coating can work in conjunction with good construction and sealing of critical areas such as the parapet joint. To this end, it must be ensured that the moisture load is only ever short-term and that the coating is permanently intact and maintained. Critical installation situations in which there is a risk of long-term moisture penetration will not be manageable with an active ingredient-free coating. Fungi are very potent creatures that can grow through many materials, including coatings.

Based on the available data, no general recommendation can be made for dispensing chemical wood preservation for dimensionally stable components. Even if there are areas of application where chemical wood preservation can be dispensed with, there are also conditions where the risk of damage is too high if chemical wood preservation is not used. This should and must be considered. There is a need for comprehensive data on the real moisture loads in the different installation situations and to correlate these with the risk of fungal

infestation. The general solution concepts developed are coordinated and adapted to the respective end products and the respective stresses, to be subjected to a practical stress test.

1 Einleitung

Die Holzindustrie ist aus ökologischen, kapazitiven und ökonomischen Gründen gefordert, neue, nachhaltige Wege der Rohstoffversorgung zu erschließen. Die Kreislaufführung von Holz wird hierbei als zentraler Hebel zur Lösung verstanden. Ist Holz mit Holzschutzmitteln behandelt, so bedeutet dies in Österreich, dass es im Rahmen der Altholzsortierung auf der Basis ihrer Quellen in die Kategorien „Altholz thermisch“ bzw. „Altholz gefährlich“ fällt [1]. Eine Einbindung in eine Kreislaufführung von mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz ist somit nicht möglich. Desgleichen ist ein Recycling von mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz nicht zulässig [2] [3].

Die Vermeidung von Holzschutzmitteln ist folglich eine Voraussetzung, um künftig einen höheren Holzanteil einer hochwertigen Nachnutzung zuführen zu können. Im Rahmen des Projektes TimberLoop sollten daher im AP 5 technische Grundlagen für einen Verzicht auf chemischen Holzschutz für Holzprodukte im bewitterten Außenbereich, ohne ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt erarbeitet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ohne Holzschutzmittel derzeit übliche Sicherheitskonzepte verlassen werden, was zu einem Risiko für derartige Holzprodukte führen kann. Die im Rahmen des Projektes TimberLoop erarbeiteten generellen Lösungskonzepte sind daher in der Folge weiterzuentwickeln und, abgestimmt und angepasst an die jeweiligen Endprodukte und die jeweiligen Beanspruchungen, einer praktischen Belastungsprobe zu unterziehen.

Zur Erarbeitung der Grundlagen für einen Verzicht auf chemischen Holzschutz, wurde folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

- Unter welchen Bedingungen ist chemischer Holzschutz erforderlich?
- Stellt ein Verzicht auf chemischen Holzschutz ein Risiko für eine Schädigung von Holzbauteilen durch Pilze dar?
- Kann ev. Risiken anders als durch chemischen Holzschutz begegnet werden?
- Wie verläuft der Befallsprozess durch Pilze bei beschichtetem Holz?
- Was sind holzschutzmittelfreie Beschichtungen in Verbindung mit Feuchteschutz und Abdichtung von Holzverbindungen gegen Befall durch Pilze zu leisten imstande?

Darauf aufbauend sollten Konzepte zur Befallsvermeidung ohne den Einsatz von chemischem Holzschutz entwickelt und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden um einen stofflichen re:use von künftigem Altholz aus verschiedenen Anwendungen zu ermöglichen.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass auch mit Holzschutzmitteln behandeltes, noch gebrauchstaugliches Holz einer Nachnutzung zugeführt werden kann. Allerdings nur dort, wo eine Holzschutzmittelbehandlung erforderlich ist und sofern die behandelte Ware (das behandelte Holz) den Vorgaben der Biozid-Verordnung [4] entspricht. In der Praxis erfolgt dies fast

ausschließlich bei imprägnierten Bahnschwellen aus Holz, die eine Wiederverwendung in niederrangigen Strecken finden und zu einem geringen Anteil bei Freileitungsmasten aus Holz.

2 Notwendigkeit für chemischen Holzschutz

Das Baumaterial Holz besitzt eine lange Lebensdauer, solange es seinen natürlichen Eigenschaften entsprechend verwendet wird. Nicht zuträglich ist dem Holz eine länger andauernde Durchfeuchtung. Neben feuchtebedingten Dimensionsänderungen wird es anfällig für mikrobielle Verfärbung und Zersetzung, wobei Pilze die größte Gefährdung darstellen. Holz ist daher vor länger andauernder Durchfeuchtung zu schützen. Dies erfolgt mit einer Kombination aus baulichen und konstruktiven Maßnahmen, der Verwendung natürlich dauerhafter Hölzer und Oberflächenschutz (Beschichtung). Dort, wo die Feuchteregulierung nicht ausreichend möglich und auch die natürliche Dauerhaftigkeit der eingesetzten Hölzer nicht ausreichend ist, ist zum Schutz des Holzes zusätzlich chemischer Holzschutz anzuwenden. Chemischer Holzschutz hat sich über Jahrzehnte bewährt und seine gute Wirksamkeit bewiesen. Holzschutzmittel dienen der Verlängerung der Lebens- und Gebrauchsdauer der damit behandelten Hölzer und Holzbauteile. Damit tragen sie zu einer Reduzierung des Verbrauchs der Ressource Holz und zu einem deutlich längeren Verbleib des im Holz gespeicherten CO_2 bei.

Die Lebens-, Stand- bzw. Gebrauchsdauer von Holz hängt einerseits von seiner natürlichen Dauerhaftigkeit ab. Darunter wird die natürliche Widerstandsfähigkeit einer ungeschützten Holzart gegen den Befall durch holzzerstörende Organismen verstanden. Der Grad der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holzarten gegenüber holzzerstörenden Pilzen wird durch eine Einteilung in Klassen lt. ÖNORM EN 350 [5] angegeben und kann zwischen sehr dauerhaft (Klasse 1) und nicht dauerhaft (Klasse 5) variieren. Dieses Klassifikationssystem gibt einen Hinweis auf die Standdauer von Holz in verschiedenen Einsatzbereichen. Das Kern- bzw. Reifholz unserer einheimischen Bauhölzer Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche sind anhand von Laborversuchen gegen holzzerstörende Basidiomyceten in Dauerhaftigkeitsklasse 4 - 5 (Fichte; wenig bis nicht dauerhaft), 4 (Tanne), 2 - 5 (Kiefer; dauerhaft bis nicht dauerhaft) bzw. 3 - 4 (Lärche; mäßig bis wenig dauerhaft) eingestuft. Eine bessere Dauerhaftigkeit weisen lediglich die deutlich weniger verfügbaren Laubhölzer Edelkastanie (Dauerhaftigkeitsklasse 1; sehr dauerhaft) sowie Robinie und Eiche (Dauerhaftigkeitsklasse 1 - 2; sehr dauerhaft bis dauerhaft) auf. Das Splintholz von allen heimischen Bauhölzern ist in die Dauerhaftigkeitsklasse 5 (nicht dauerhaft) eingestuft.

Andererseits hängt die Lebensdauer von Holz auch von den Umgebungsbedingungen, denen Holzbauteile während der Verwendung ausgesetzt sind, ab. Diese Umgebungsbedingungen werden durch Gebrauchsklassen in ÖNORM EN 335 [6] beschrieben. Aus den sich daraus

ergebenden Lebensbedingungen für Schadorganismen, resultiert eine mehr oder weniger große Schadenswahrscheinlichkeit.

Bei Holzbauteilen kommen nun neben der Dauerhaftigkeit des Holzes und den Umgebungsbedingungen noch weitere Größen wie Konstruktion, Verarbeitung, Abdichtungen, Einbausituation, u.a. dazu, die einen Einfluss auf die Lebensdauer haben. All diese Einflussfaktoren bewirken ein entsprechendes Risiko für Holzbauteile für einen Befall durch Schadorganismen und müssen in den Entscheidungsprozess für oder gegen chemische Holzschutzmaßnahmen einfließen: Beginnend bei der sorgfältigen Planung, Materialwahl und Ausführung, über den Feuchteschutz durch Konstruktion und Beschichtung, Beachtung der vielfältigen Einbausituationen von Holzbauteilen, die unterschiedliche Beanspruchungen bedingen, bis zur Instandhaltung mit Inspektion, Wartung und Renovierung.

Um den Schutz von Holzbauteilen im Bauwesen vor einer möglichen Beeinträchtigung durch holzverfärbende und/oder -zerstörende Organismen sicherzustellen, wurden diese Parameter mit den zu setzenden Maßnahmen verknüpft und in Normen und Regelwerken festgehalten. In Abbildung 1 wurden diese Parameter, in Anlehnung an ÖNORM EN 460 [7], grafisch dargestellt.

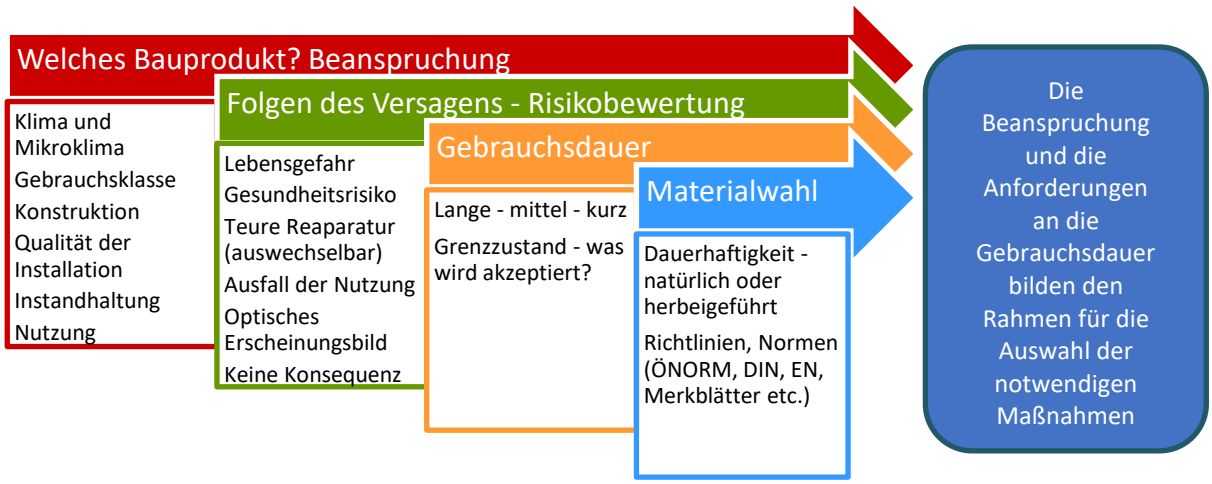


Abbildung 1: Leitfaden zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Holz und Holzprodukten in Anlehnung an ÖNORM EN 460 [7]

In Österreich sind maßgebliche detaillierte Regelungen für den Holzschutz in der Normenserie ÖNORM B 3802 (Teil 1-3) [8] [9] [10], für maßhaltige Bauteile wie Fenster und Türen in ÖNORM B 3803 [11] festgehalten, in Deutschland in der Normenserie DIN 68800 (Teil 1-3) [12] [13] [14]. Dabei besteht bereits jetzt aus Gründen des Schutzes von Mensch und Umwelt die Verpflichtung, bauliche Maßnahmen vorrangig zu berücksichtigen und chemische Holzschutzmaßnahmen auf das erforderliche Maß zu reduzieren, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Hierarchisch ist daher folgende Maßnahmen-Abfolge zu beachten:

- Bauliche Maßnahmen insbesondere Maßnahmen zur Begrenzung der Holzfeuchtigkeit (während Transport und Lagerung, während Montage und Einbau,

aus dem Baugrund, aus angrenzenden Stoffen, vor Niederschlagswasser, vor Nutzungsfeuchte, vor Kondenswasser),

- Auswahl einer geeigneten Holzart nach der natürlichen Dauerhaftigkeit,
- Chemische Maßnahmen.

Holz und Holzbauteile im bewitterten Außenbereich sind dem Risiko einer Schädigung durch Pilze ausgesetzt. Länger andauernde Feuchteeinwirkung ist Voraussetzung für Pilzbewuchs. Folglich erfordern alle Konzepte zur Vermeidung von Pilzbefall, bei Verzicht auf die Anwendung von Holzschutzmitteln, einen Schutz des Holzes vor länger andauernder Feuchteeinwirkung.

3 Risikobewertung

Ohne chemischen Holzschutz werden derzeit übliche Sicherheitskonzepte verlassen, was eine Gefährdung dieser Holzprodukte für einen Pilzbefall darstellen kann. Inwiefern ein Verzicht auf chemischen Holzschutz ein Risiko für eine Schädigung von Holzbauteilen durch Pilze darstellt und ob dem auch anders zu begegnen ist als durch chemischen Holzschutz, galt es abzuklären und auf seine potenziellen Auswirkungen hin zu bewerten. Dies erfolgte anhand von Ergebnissen aus Vorprojekten, Literaturrecherche, Begutachtungen von Holzobjekten und von Reklamationsstatistiken der Projektpartner:innen zur Identifikation von noch bestehenden Schwachstellen. Basierend darauf erfolgte eine Ursachenanalyse und Bewertung inwiefern die beschriebenen Phänomene, durch die im AP 5 erprobten Lösungsansätze theoretisch zu bewältigen wären.

3.1 Reklamationsstatistiken der Projektpartner

Die Häufigkeit von Schäden ist eine große Unbekannte. Derartige Daten werden nicht zentral erfasst und stehen daher auch nicht für eine statistische Auswertung zur Verfügung. Bezüglich Holzfenster haben das ift Rosenheim und Fraunhofer WKI in einer groß angelegten Untersuchung über Schäden an Fenstern berichtet. Laut [15] versagen etwa 0,5 % aller normal beanspruchten Fenster aus Kiefer oder Fichte durch Fäulnis, während dieser Anteil bei den hoch beanspruchten Fenstern bis zu 10 % beträgt. Fäulnis tritt fast ausschließlich an Eckverbindungen und Pfostenanschlüssen auf. In [16] wird gefolgert, dass 0,3 % bis 1,0 % der deckend lackierten Fenster aus Kiefer oder Fichte in Deutschland in den ersten 12 Jahren Fäulnis aufweisen.

Im Projekt TimberLoop wurden die Projektpartner (Holzfensterhersteller und Beschichtungsfirmen) gebeten ihre Reklamationsstatistiken zu analysieren. Trotz aller Schwierigkeiten alte, noch nicht digital erfasste Daten auszuheben, lässt sich daraus ableiten, dass seit Jahren kaum noch Feuchte- und Fäulnisschäden durch holzzerstörende Pilze im

Holzfenster auftreten und wenn, dann sind diese durch konstruktive oder bauliche Fehler verursacht. Waren Feuchteschäden an Holzfenstern in den 1990er und bis ca. Mitte der 2000er Jahre noch öfters anzutreffen, so war ein starker Rückgang von Schäden ab ca. 2005 zu verzeichnen. Als Ursachen wurden folgende Aspekte identifiziert:

- Oberflächentechnologie
  Die Umstellung von lösemittel- auf wasserbasierte Beschichtungsmaterialien zu Beginn der 1990er Jahre erforderte diverse Anpassungen bei der Verarbeitung der wasserbasierten Systeme. Dies war Mitte der 2000er Jahre erfolgreich durchgeführt.
- Abdichtungsmaterialien
  Die wichtige Rolle der Fugenabdichtung der exponierten Brüstungsfugen wurde erkannt und ab den frühen 2000er Jahren standen solche Materialien wie V-Fugensiegel zur Verfügung und wurden ab dann auch von den Fensterherstellern verarbeitet.
- Zunahme des Anteils an Holz/Alu-Fenstern
  Ab den frühen 2000er Jahren setzte ein starker Umbruch in Richtung Holz/Alu-Fenster ein. Die Aluschale schützt die darunterliegende Holzfensterkonstruktion vor direkter Bewitterung, wodurch Schäden deutlich reduziert wurden.
- Pflege und Wartungsanleitungen
  Diese werden dem Kunden offensiver nähergebracht, wodurch sich diese der erforderlichen Wartungsschritte deutlich besser bewusst sind und diese auch gewissenhafter durchführen.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass typische Feuchte- und Fäulnisschäden üblicherweise erst nach Ablauf der gesetzlichen Gewährleistungsfrist auftreten und daher meist nicht zwangsläufig in den Reklamationsstatistiken der Projektpartner erfasst sind. Die Beobachtungen aus den Branchen lassen aber durchaus den Schluss zu, dass in den frühen 2000er Jahren noch deutlich öfter Feuchte- und Fäulnisschäden behoben wurden, danach jedoch kaum noch.

Auf Basis dieser Rückmeldungen sind die im Rahmen der Untersuchung von Lukowsky und Moarcas ermittelten Schäden an Holzfenstern neu einzuordnen. Diese Fenster wurden Mitte der 2000er Jahre begutachtet und waren größtenteils 10 Jahre zuvor eingebaut worden. Damit entsprechen sie nicht mehr dem seit Mitte der 2000er Jahre üblichen Stand der Technik, sondern entsprechen jenen Fenstern, bei denen auch die Partner im Projekt TimberLoop noch deutlich öfter Feuchte- und Fäulnisschäden beobachteten. Aus diesen Beobachtungen kann abgeleitet werden, dass der Stand der Fenstertechnik betreffend Fertigung, Abdichtung, Beschichtung und Einbau heute hoch und das Risiko für Schäden durch Pilze klein ist.

Der Beitrag den der chemische Holzschutz zu dieser Schadensfreiheit von Holz- und Holz/Alu-Fenstern leistet, lässt sich aus diesen Daten jedoch genauso wenig ableiten, wie das Risiko bei Verzicht auf chemischen Holzschutz. Da bei Holz- und Holz/Alu-Fenstern üblicherweise ein chemischer Holzschutz aufgebracht wurde und wird, scheinen Fenster, die keine Holzschutzmittelbehandlung aufweisen, nicht in den Rückmeldungen der TimberLoop Partner und deren Reklamationsstatistiken auf. Es ist im Projekt TimberLoop trotz intensiver Suche

leider nicht gelungen Holz- und/oder Holz/Alu-Fenster, die ohne chemischen Holzschutz gefertigt wurden und bereits einige Jahre eingebaut sind, zu begutachten.

3.2 Inspektion von Holz/Alu-Fenstern

Am 21.02.2023 erfolgte von der Holzforschung Austria an einem Bürogebäude eines Projektpartners in der Steiermark, nordwestlich von Graz (Abbildung 2), die Untersuchung von im Jahr 1995 eingebauten Holzfenstern, die im Jahr 2007 bis 2008 auf der Außenseite mit Alu-Schalen abgedeckt wurden. Es wurden acht Fenster nach den unterschiedlichen Expositionsrichtungen untersucht, die Fenster sind im Grundriss des Bürogebäudes gekennzeichnet (Abbildung 3).

Bei den Holzfenstern handelte es sich um Fenster mit Zweischeibenisolierglas und Fensterprofilen aus Lärchenholz (Abbildung 4). Die Holzfenster waren mit einer braunen Lasur beschichtet. Für die Untersuchung der Fensterprofile hinsichtlich Schäden der darunterliegenden Holzrahmen wurden die Alu-Schalen vom Fensterstock und vom Fensterflügel von den zu untersuchenden Fenstern von einem Projektpartner aus der Fensterindustrie abgenommen. Es erfolgte eine augenscheinliche Untersuchung auf Schäden und Holzfeuchtemessungen mit einem elektrischen Holzfeuchtemessgerät „Brookhus FME moisture meter“.

Abbildung 2: Ansicht des Bürogebäudes mit den drei auf der Südwestfassade untersuchten Fenstern (rot eingerahmt)

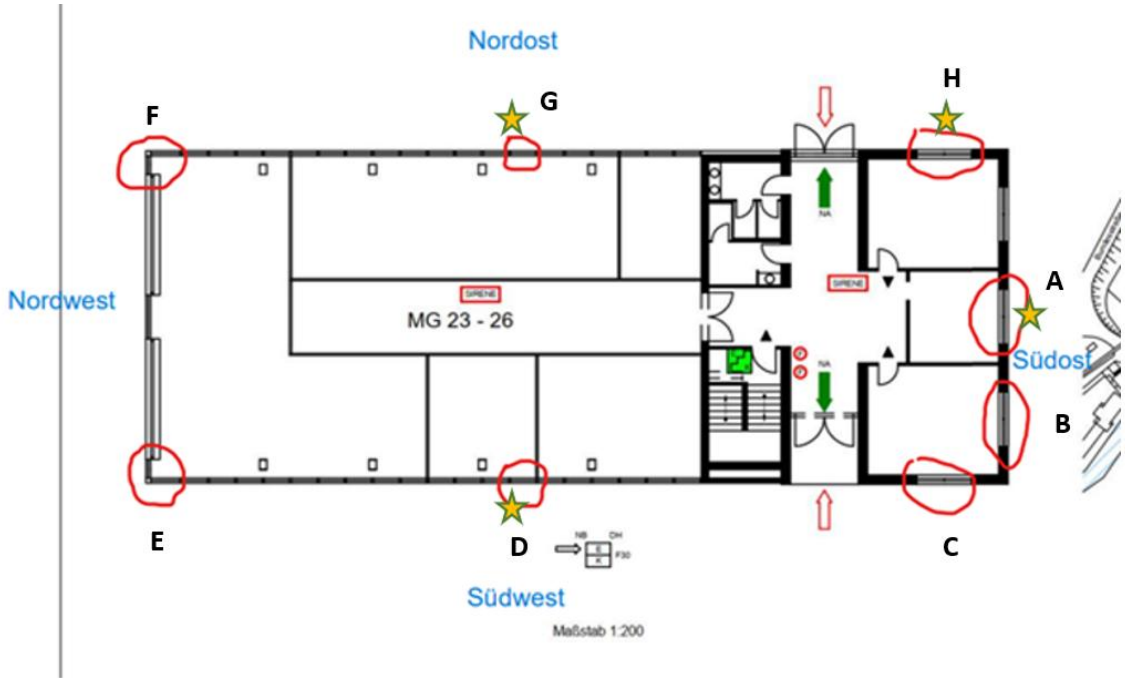


Abbildung 3: Grundriss des Bürogebäudes mit den in Rot gekennzeichneten untersuchten Fenstern

Abbildung 4: Ansicht der mit Aluschale verkleideten Holzfenster (links: Fensterstock mit geöffnetem Fenster; rechts: Fensterflügel im geöffneten Zustand)

3.2.1 Bläue und Fäulnisschäden

An den Fenstern in Richtung Südosten und Nordwest wurde keine Fäule festgestellt, Richtung Südwest wurde bei einem Fenster Südwest ein leichter Fäulnisschaden festgestellt. In Richtung Nordost war eine beginnende Fäule an den Stockprofilen, besonders an den horizontalen Profilen und im unteren Bereich der vertikalen Profile zu beobachten, diese Bereiche lagen im Spritzwasserbereich (Abbildung 5).

Bläue wurde vor allem im unteren Bereich der vertikalen Profile und dem unteren horizontalen Profil festgestellt, die Bläueunterwanderung erfolgte am unteren Flügelprofil von der Unterkante her (Abbildung 6). Eine Differenzierung hinsichtlich der Expositionsrichtung war bei der Bläue nicht ersichtlich, auf der Nordost und Südwest Fassade wäre eine höhere Feuchtebelastung zu erwarten, hingegen auf der Südwest und Nordwest Fassade eine stärkere Beanspruchung durch die Sonnenstrahlung und daher stärkere Abwitterungserscheinungen der Beschichtung, was zum Verlust des Feuchteschutzes führt.

Abbildung 5: Beginnende Fäulnisschäden am unteren Stockprofil und im unteren Bereich des vertikalen Stockprofils (Fenster F auf der Nordost Fassade)

Abbildung 6: Feuchteunterwanderung und starke Bläue am unteren Flügelprofil von der Unterkante ausgehend (Fenster F auf der Nordost Fassade)

3.2.2 Abwitterung der Beschichtung

Starke Abwitterungserscheinungen wie Beschichtungsrisse, kleinflächige Abblätterungen, Feuchteunterwanderungen und Verfärbungen waren vor allem im unteren Bereich der Fenster zu beobachten (Abbildung 7). Im Bereich der Spritzwasserbelastung war die Beschichtung stark renovierungsbedürftig, vor allem das untere Stockprofil war bei allen Fenstern extrem abgewittert (Abbildung 8).

Der Zustand der Fensteroberflächen unter der Alu-Schale lässt darauf schließen, dass die Beschichtung vor dem Anbringen der Alu-Schale nicht renoviert wurde und die starken Abwitterungserscheinungen der Beschichtung zum Teil von der Bewitterung ohne Alu-Schale stammen.

Abbildung 7: Starke Abwitterungserscheinungen der Beschichtung wie Risse und Abblätterungen im unteren Bereich des Fensterflügels (Fenster C auf der Südwest Fassade)

Abbildung 8: Extreme Abwitterung der Beschichtung am unteren Fensterstockprofil (Fenster H auf der Nordost Fassade)

3.2.3 Holzfeuchte

Die Holzfeuchten wurden im unteren Bereich der Fenster gemessen, da dort die höchsten Feuchtebelastungen zu erwarten waren. Alle gemessenen Holzfeuchten lagen weit unter dem für Pilze kritischen Bereich von 20 %. Der höchste Wert mit 12,8 % wurde am unteren Stockprofil auf der Nordostseite bei Fenster H gemessen.

Die Auswertung der über Stock, Flügel und Expositionsrichtung gemittelten Holzfeuchten zeigten auf der Nordost und der Nordwest Fassade mit 10,3 % tendenziell höhere Werte als auf der Südost Seite mit 8,8 % und der Südwest Seite mit 7,9 %. Die Holzfeuchten im Stock waren um 0,5 % bis 1,5 % höher als im Flügel.

3.2.4 Zusammenfassung

Die Lärchenholzfenster mit lasierter Oberfläche waren zum Zeitpunkt der Inspektion bereits mehr als 27 Jahre im Einsatz, davon 15 bis 16 Jahre durch eine nachträglich aufgebrachte Alu-Schale vor Witterung geschützt. Nähere Angaben zur Beschichtung und zum Holzschutz waren nicht bekannt. Das Erscheinungsbild der Oberflächen unter der Alu-Schale lässt darauf schließen, dass die Beschichtung vor dem Aufbringen der Alu-Schale nicht gewartet bzw. renoviert wurde. Besonders im unteren Bereich der Fenster waren fortgeschrittene Abwitterungserscheinungen wie Beschichtungsrisse, Abblätterungen, Feuchteunterwanderungen und Bläue vorhanden. Die Feuchteschutzfunktion der Beschichtung war nicht mehr vorhanden. Trotz des schlechten Zustandes der Beschichtung wurden im unteren Bereich der Holzfenster nur sehr geringe Holzfeuchten von maximal 12,8 % gemessen, weit unter dem für holzzerstörende Organismen kritischen Bereich von 20 %. Die Fäulnisschäden begrenzten sich auf die durch Spritzwasser beanspruchten unteren Bereiche der Fenster auf der Nordost Fassade. Die Funktionsfähigkeit der Fenster war, durch die erst im frühen Stadium befindlichen Fäulnisschäden, nicht beeinträchtigt.

Der nachträglich angebrachte Schutz der beanspruchten Flächen durch eine Alu-Schale reduzierte mit hoher Wahrscheinlichkeit Schäden durch holzzerstörende Organismen. Im Vergleich zu heutigen Holz-Alu-Fensterkonstruktionen bot die nachträglich angebrachte Alu-Schale keinen optimalen Schutz, es konnte nicht, wie heute Standard, im Spritzwasserbereich das Wasser von der Holzkonstruktion ferngehalten werden. Vorteilhaft war dafür das verwendete dauerhaftere Lärchenholz, was bei Holz-Alu Fenstern eher selten zum Einsatz kommt. Der Anteil von wahrscheinlich vorhandenen Holzschutzmitteln konnte wegen fehlender Angaben nicht quantifiziert werden.

Entsprechend ÖNORM B 3803, Pkt. 4.3.2, darf bei geschützten Holzfensterkonstruktionen, wie bei Holz-Alu Fenstern der Fall, auf Holzschutzmittel verzichtet werden.

3.3 Vorprojekt Balkonmonitoring

3.3.1 Konstruktion und Beschichtung

Im Rahmen des Projektes Balkonmonitoring wurden 16 Holzbalkonelemente aus Fichtenholz (*Picea abies*) 65 Monate lang am Freigelände der Holzforschung Austria exponiert. Die Balkonaufbauten waren auf den Ost-, Süd- und Westseiten gleich mit Blumenkasten, Füllung, Balkonbodenblende, Handlauf und einer geschlossenen Beplankung und von der Nordseite her offen und begehbar ausgeführt (Abbildung 9). Bei diesen Konstruktionen wurden bewusst konstruktive Schwachstellen, wie sie in der Praxis vermieden werden sollen, jedoch häufig anzutreffen sind, eingebaut, um deren Einfluss auf den Feuchtehaushalt des Holzes in Verbindung mit der Beschichtung zu untersuchen.

Abbildung 9: Südansicht einer Balkonkonstruktion; linke Seite: Erstbeschichtung; rechte Seite: Wartungsanstrich nach 18 Monaten Bewitterung appliziert (links); Konstruktion der Balkonaufbauten (vertikaler Schnitt) (rechts)

Fünfzehn Elemente wurden mit unterschiedlichen Beschichtungen ausgeführt, ein Element blieb unbehandelt. Nach 18 Monaten Bewitterung wurde auf jeder Seite (Ost-, Süd- und Westseite), unabhängig vom Zustand der Erstbeschichtung, jeweils die rechte Seite mit einem Wartungsanstrich versehen.

Die verwendeten Beschichtungssysteme wurden nach den Trockenschichtdicken gemäß ÖNORM EN 927-1 [17] in niedrig-, mittel- und hochfilmbildende Systeme kategorisiert. 2 Systeme waren deckend weiße Beschichtungssysteme, alle anderen hatten einen braun lasierenden Farbton. Darüber hinaus wurden die Applikationsmethoden Streichen, Fluten und Tauchen angewendet, zwei Systeme erhielten eine Druck-Vakuumimprägnierung.

Nach 65 Monaten Freilandbewitterung wurden die Elemente zerlegt und auf Fäulnisschäden untersucht.

3.3.2 Zusammenfassung

Trotz der Missachtung des konstruktiven Holzschutzes (bewusst fehlerhafte Konstruktion) wurde innerhalb der 5 ½ Jahre Freilandbewitterung bei den Systemen 7 und 9 (Lösemittel haltige Vakuumimprägnierung B, P), 8 (wässrige Flutimprägnierung B, P), 14 (Streichimprägnierung B, P) kein Fäulnisbefall festgestellt. Auch das System 4 (Streichimprägnierung B) zeigte keinen Fäulnisbefall, was weniger auf den chemischen Holzschutz, aber wahrscheinlich eher auf einen sorgfältigen Hirnholzschutz und diffusionsoffene niedrig-filmbildende Beschichtung zurückzuführen ist. Es war eine Tendenz zu beobachten, dass Beschichtungen mit geringem Wirkstoffgehalt bzw. ohne Schutz gegen holzzerstörende Pilze (P) häufiger starke Fäulnisschäden zeigten als jene mit stärkerer Wirkstoffausrüstung. Dem entgegen stand der starke Fäulnisbefall von System 15, das in der Imprägnierung und der Grundierung eine Ausrüstung B und P hatte und die Deckbeschichtung mit B ausgerüstet war. Im Vergleich zum unbeschichteten Balkonelement war bei den beschichteten Balkonelementen die Anzahl der Stellen mit Fäulnis geringer. Die Beschichtungssysteme der Balkonelemente nach Fäulnisschäden, vorbeugenden Schutz gegen holzzerstörende Pilze (P) und sorgfältig ausgeführtem Hirnholzschutz sind in Tabelle 1 gekennzeichnet.

Die meisten Fäulnisschäden, exemplarisch dargestellt in Abbildung 10, wären vom Laien von außen, ohne die Zerlegung der Elemente, wahrscheinlich nicht als solche erkannt worden. Werden Fäulnisschäden von außen erkannt, so ist es wichtig rasch darauf zu reagieren und eine Behebung des Schadens und dessen Ursachen in die Wege zu leiten, um ein Ausbreiten des Fäulnisbefalls zu verhindern. Beschichtungen reduzierten das Fäulnisrisiko, erhöhten die Stabilität der Verbindungen und schützten und erhielten die Oberfläche.

Der Schutz des Hirnholzes vor starker Flüssigwasseraufnahme ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor, um Fäulnisschäden zu vermeiden. Zum Teil wurden mit den für die Längsflächen verwendeten Beschichtungsprodukten auf Hirnholz und Schweifflächen ebenfalls gute Ergebnisse erzielt, spezielle auf das Beschichtungssystem abgestimmte Hirnholzschutzprodukte können den Schutzeffekt erhöhen. Optimal wäre eine Konstruktion, bei der das Hirnholz für Wartungs- und Renovierungsanstriche zugänglich bleibt. Bei der Montage notwendige Hirnholzschnitte sollten wieder versiegelt, bzw. nachbehandelt werden. Als Hirnholz sollen alle Flächen mit hoher Faserabweichung wie Querschnittflächen, Gehrungsschnittflächen, Schweifflächen u. a. betrachtet werden.

Abbildung 10: Exemplarische Darstellung von Fäulnisschäden nach 65 Monaten Freilandbewitterung, verursacht durch bewusste Missachtung des konstruktiven Holzschutzes – Nahe Hirnholzenden von Baluster und Handlauf und im Bereich von Holzmerkmalausbesserungen

Tabelle 1: Kennzeichnung der Beschichtungssysteme der Balkonelemente nach Fäulnisschäden, vorbeugenden Schutz gegen holzzerstörende Pilze (P) und sorgfältig ausgeführtem Hirnholzschutz

System Nr.	Schichtdicke [µm]	Kategorie	BESCHICHTUNGSPRODUKTE		
2	75	Weiss-hoch	Grundierung 1x streichen	Deckbeschichtung (weiß) 2x streichen	
9	80	Weiss-hoch	Vakuumimprägnierung (lö.) (B, P) 1x Vak.I.	Grundierung 1x fluten	Deckbeschichtung (weiß) 2x fluten
3	28	niedrig	Holzschutzlasur (B, P, W) 2x streichen		
4	33	niedrig	Dünnschichtlasur (B) 1x streichen	Dünnschichtlasur (B) 1x streichen	Dünnschichtlasur (B) 1x streichen
1	37	niedrig	Holzschutzlasur (B, P) 2x streichen		
15	38	mittel	Imprägnierung (B, P) 1x streichen	Grundierung (B, P) 1x streichen	Holzschutzlasur (B) 2x streichen
13	41	mittel	Imprägnierung (B, P) 1x tauchen	Grundierung (B, P) 1x tauchen	Lasur (B) 2x tauchen
10	43	mittel	Imprägnierung (B) 1x streichen	Lasur 3x streichen	
5	43	mittel	Imprägnierung (B) 1x tauchen	Lasierende Grundierung (B) 1x tauchen	Lasur 1x streichen
12	46	mittel	Imprägnierung (B) 1x streichen	Dünnschichtlasur 3x streichen	
6	55	mittel	Imprägnierung (B) 1x tauchen	Lasierende Grundierung (B) 1x tauchen	Dickschichtlasur 1x streichen
11	61	hoch	Imprägnierung (B) 1x streichen	Grundierung (B) 1x streichen	Lasur 2x fluten
7	69	hoch	Vakuumimprägnierung (lö.) (B, P) 1x Vak.I.	Grundierung (B, P) 1x fluten	Lasur 2x fluten
8	69	hoch	Imprägnierung (B, P) 1x fluten	Grundierung (B, P) 1x fluten	Lasur 2x fluten
14	83	hoch	Imprägnierung (B, P) 1x streichen	Grundierung (B, P) 1x streichen	Lasur 2x streichen
16	-	U			

APPLIKATIONSVERFAHREN	
Streichen	Fluten
Tauchen	Vakuumimprägnierung (Vak.I.)

Legende zu Tabelle 1:

Symbol	Bedeutung
●	Elemente ohne augenscheinlich feststellbaren Fäulnisbefall nach 5,5 Jahren Freilandbewitterung
●	Frühes Stadium von Fäulnis
▬	Ohne vorbeugenden Schutz gegen Pilze (P)
▬	Sorgfältig ausgeführter Hirnholzschutz

3.4 Begutachtung des Aussichtsturms am Pyramidenkogel

Der ab Oktober 2012 neu ausgeführte und im Juli 2013 fertiggestellte Aussichtsturm auf dem Pyramidenkogel in Keutschach, südlich des Wörthersees in Kärnten, ist nicht nur ob seiner Höhe von 100 m (Antennenmastspitze) sondern auch aus Sicht des Holzschutzes ein besonderes Bauwerk (Abbildung 11). Der Architekt Klaus Klaura schreibt über die Bauweise: „Das Turmbauwerk wurde aus 16 Leimholzpfählen, ausgesteift durch 10 elliptischen Ringen und 80 Diagonalstreben, errichtet“ … „Die Detailausbildungen aller Holzteile wurden mit Bedacht auf hohen konstruktiven Holzschutz entwickelt.“ [18].

Abbildung 11: Aussichtsturms am Pyramidenkogel am 09.04.2024 ca. 10 ½ Jahre nach der Errichtung

Es wurde bei den Leimholzpfählen auf einen chemischen Holzschutz und den Schutz durch eine Holzbeschichtung verzichtet. Es war lediglich eine dünne schmutzabweisende Schicht für den Transport und die Errichtung aufgebracht, die mit der Zeit abwitterte. Ziel war es die Oberfläche der Leimholzpfähle durch die natürliche Bewitterung natürlich verändern zu lassen, bis hin zur Vergrauung, die langfristig bei allen unbeschichteten ungeschützten Holzoberflächen bei direkter Bewitterung entsteht.

Dieses Objekt war somit ein geeignetes Objekt für eine Untersuchung hinsichtlich Schäden durch holzzerstörende Organismen, bei dem auf den chemischen Holzschutz verzichtet wurde und mit mehr als 10 Jahren eine entsprechend lange Zeit in Benützung war.

Am 09.04.2024 erfolgte die Untersuchung des Bauwerks seitens Holzforschung Austria durch Herrn DI Florian Tscherne, Herrn Dipl.-HTL-Ing. Peter Schober und Dipl.-HTL-Ing. Michael Truskaller, im Beisein des Architekten Arch. Mag. Markus Klaura und dem Tragwerksplaner DI Markus Lackner (Abbildung 12).

Abbildung 12: Untersuchung des Aussichtsturms am Pyramidenkogel am 09.04.2024 durch Michael Truskaller (Photo) und (vrnl) Florian Tscherne und Peter Schober (Holzforschung Austria), Markus Lackner (Tragwerksplaner) und Arch. Markus Klaura (Architekt und Generalplaner)

Ein Großteil der Holzbauteile ist der Gebrauchsklasse (GK) 3.1 gemäß ÖNORM B 3802-1 zuzuordnen, in der das Holz nicht unter Dach und der Bewitterung ausgesetzt ist. Es ist jedoch, im Gegensatz zu GK 3.2, für eine rasche Wasserableitung sowie eine gute Belüftung und somit eine rasche Rücktrocknung gesorgt. Dadurch soll die Holzfeuchte nur gelegentlich über 20 %

liegen und nicht wie in GK 3.2 eine langfristige oder gar ständige Durchfeuchtung vorherrschen.

Das Team der Architekten von Klaura Kaden + Partner ZT GmbH und der Tragwerksplaner Lackner & Raml ZT GmbH haben nicht nur aus statischen Gründen, sondern auch um den oben genannten Grundsätzen zu entsprechen, die horizontal liegenden elliptischen Ringe, die die Leimholzpfähle horizontal verbinden in Stahl ausgeführt. Die Detailausführung der Knotenpunkte wo der Leimholzpfahl, der horizontale elliptische Ring und die Diagonalaussteifung zusammentreffen, war dabei herausfordernd, weil in diesem Bereich ein erhöhtes Risiko für Wasseransammlungen besteht. Gelöst wurde dies, indem Metallplatten in den Leimholzpfahl eingefräst und mit Überstand eingeklebt wurden an welche die Ellipsenteile und die Teile der Diagonalaussteifung angeschraubt wurden. Dadurch wurde erreicht, dass die Flächen der einzelnen Elemente ausreichend Abstand zur Holzoberfläche hatten und das Wasser rundherum abfließen kann (Abbildung 13 und Abbildung 14).

Neben dem generell hohen Vorfertigungsgrad wurde im Zuge der Produktion der Teile darauf abgezielt Holz-Metall-Verbindungen im Produktionswerk unter geschützten Bedingungen herzustellen, was eine größtmögliche Präzision ermöglichte und auf der Baustelle vielfach einfacher auszuführende Metall-Metall-Verbindungen umzusetzen waren.

Abbildung 13: Hinterlüfteter Kontenpunkt – Reduktion der Kontaktflächen zwischen Metall und Holz auf ein Minimum

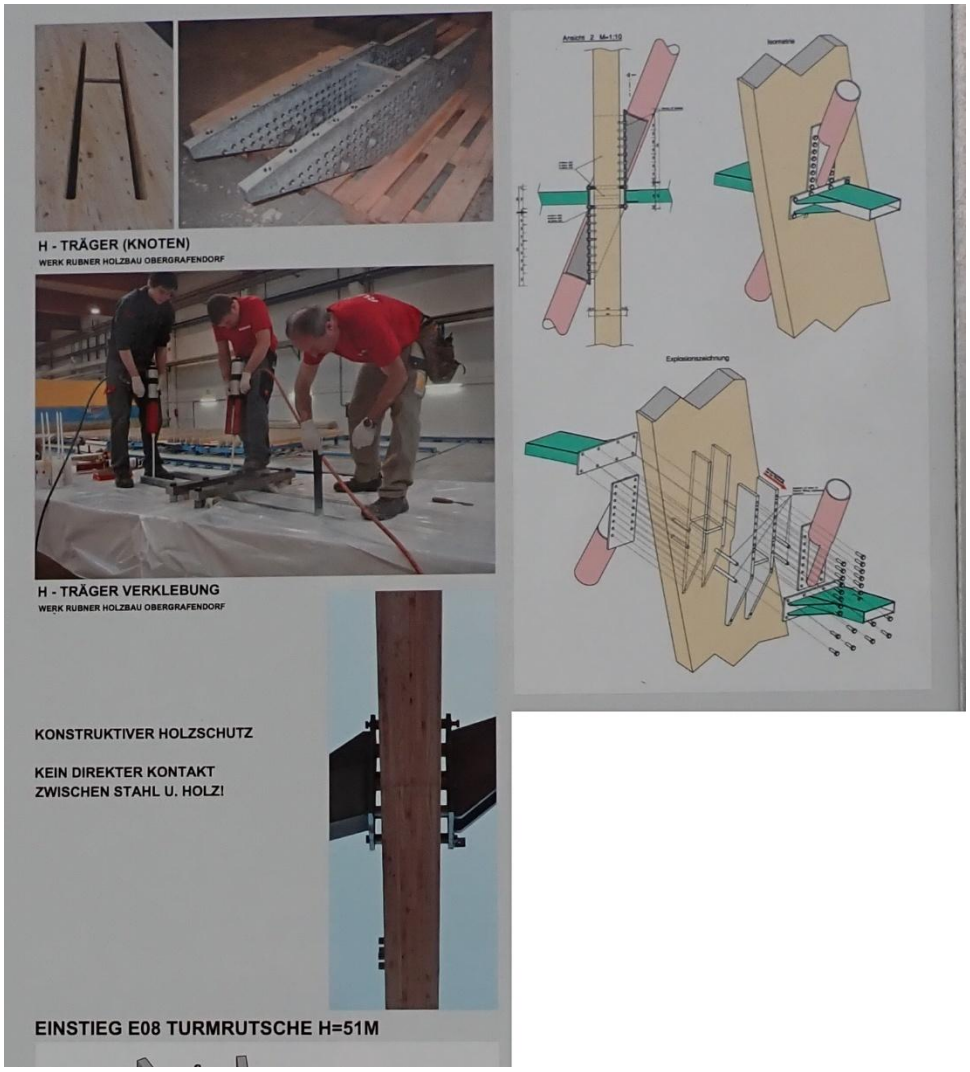


Abbildung 14: Ausschnitt einer Schautafel am Pyramidenkogel - Detailplanung des Fachwerksknoten, Verkleben von Stahlteilen (H-Träger) in den Träger und Darstellung der hinterlüfteten Konstruktion

Die Materialwahl fiel auf europäisches Lärchenholz. Es ist bekannt, dass die natürliche Dauerhaftigkeit gegen holzzerstörende Pilze von Lärchenholz eine hohe Variabilität hat, nach ÖNORM EN 350 [5] liegt diese zwischen 3 und 4. Daher wurden von den Planern und den Ausführenden hohe Sorgfalt auf die Holzqualität gelegt und diesbezüglich Vorgaben festgelegt. Es wurden unter anderem eine intensive rötliche Färbung des Kernholzes und schmale Jahrringbreiten vorgeschrieben, wodurch eine gewisse natürliche Mindestdauerhaftigkeit sichergestellt wurde.

Der Querschnitt der Leimbinderpfähle wurde so dimensioniert, dass einige Zentimeter des Randes des Querschnitts als Schutzzone angesetzt wurden. Diese Schutzzone übernimmt in der Theorie keine statischen Funktionen und dürfte nach der Theorie her technisch versagen, ohne dass das Tragwerk gefährdet wäre.

3.4.1 Ergebnisse der Begutachtung

Die hier beschriebenen Ergebnisse sind das Resultat von stichprobenartig festgelegten einzelnen Analysestellen hinsichtlich des Vorhandenseins von Schäden durch holzzerstörende Organismen.

Die Holzoberflächen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung nach mehr als 10 ½ Jahren Bewitterung bereits stark vergraut. Flächen die aufgrund ihrer Exposition weniger stark durch die Sonne bestrahlt bzw. weniger stark beregnet wurden hatten die vor dem Vergrauen eintretende dunkle rötlich braune Verfärbung. Weder die vergrauten Oberflächen noch die sich in einem Vorstadium der Vergrauung befindlichen Oberflächen stellen sich aus Sicht des Holzschutzes kritisch oder bedenklich dar.

Auf den Holzoberflächen waren Holzlängsrisse zu erkennen und zum Teil Risse entlang der Leimfugen, die meist nur eine geringe Tiefe hatten. Im Bereich der Längsverbindung der Leimholzpfähle (Abbildung 15) war an den unteren Enden der Leimholzpfähle eine tendenziell stärkere Rissbildung ersichtlich. Diese wird durch eine stärkere Aufnahme von abfließendem Regenwasser über das Hirnholz in tiefere Bereiche des Querschnitts verursacht. Der Trocknungsprozess, der auf der Außenfläche beginnt und besonders bei direkt von der Sonne bestrahlten Flächen rascher verläuft führt zu Querzugspannungen. Das im Zuge der Witterung stattfindende Auffeuchten und Trocknen führt letztendlich zu einer vermehrten Tendenz zur Rissbildung. Ein stärkeres Auffeuchten des Inneren des Querschnitts wurde durch die Ausbildung einer Tropfnase rund um den Querschnitt, an dem das Wasser abtropfen kann, verhindert.

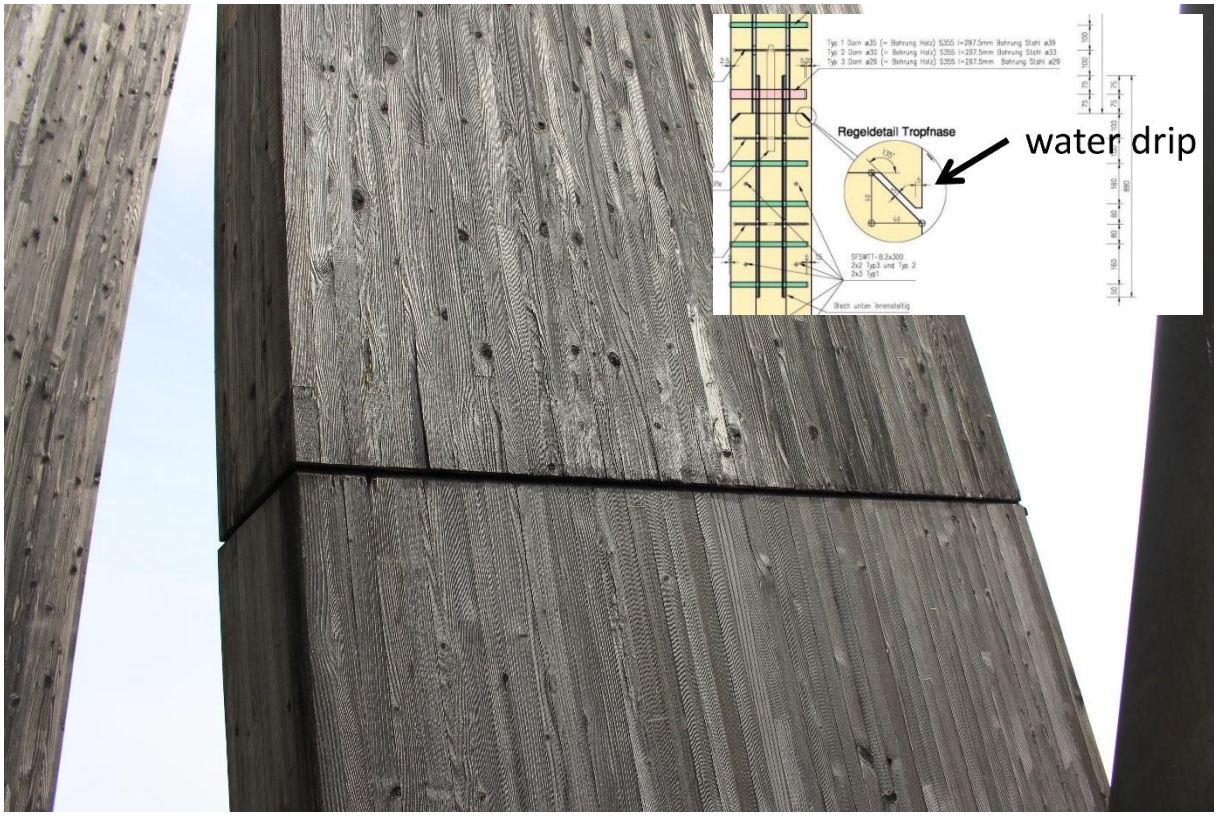


Abbildung 15: Längsstoß mit tendenziell größerer Rissbildung am unteren Ende des Oberteils; Detailausführung der Tropfnase (© by Lackner und Rami – Tragwerksplanung)

Vereinzelt wurden Stellen mit größeren Holzlängsrissen beobachtet, bei denen die Gefahr besteht, dass sich Wasser im tieferen Bereich des Querschnitts sammelt, was das Risiko eines Fäulnisschadens erhöhen würde (Abbildung 16). An den Blockfugen wurden teilweise ebenfalls größere Holzrisse festgestellt. Stellen wie diese sollten in ein regelmäßiges Monitoring aufgenommen werden.

Abbildung 16: Großer tieferer Holzlängsriss auf der Fläche des Leimholzpfahls – mögliche Feuchtefalle mit erhöhtem Risiko für Fäulnisbildung – Aufnahme als Monitoring Stelle

Die Verklebung des H-Trägers, welche in den Leimholzpfahl eingefräst und eingeklebt wurden, zeigten keine Auffälligkeiten. Der Kleber war augenscheinlich und haptisch sehr fest und rund um die Klebestellen gab es keine Anzeichen von Schäden durch holzzerstörende Organismen. Die die Klebestelle umgebenden Holzoberflächen waren zum Teil stark vergraut, was auf eine starke Bewitterung hindeutet.

Abbildung 17: Detailaufnahmen des oberen Endes einer Klebestelle des H-Trägers in den Leimholzpfahl

An einzelnen Stellen wurden Holzfeuchtemessungen und Bohrwiderstandsmessungen durchgeführt. Die Holzfeuchten betrugen maximal 15,5 % im Bereich des Sockels am unteren Ende des Leimbinderpfahls. Bei allen vier Bohrwiderstandsmessungen (im Sockelbereich und nahe von Fenstern in der sogenannten Skybox) wurden keine Anzeichen für einen Fäulnisbefall im inneren des Querschnittes festgestellt.

Vom Architekten wurde auf eine dunkel verfärbte Untersicht einer Decke auf der Terrasse hingewiesen. Die Untersicht war augenscheinlich wegen der doch häufigeren hohen Feuchtebelastung in Seenähe von Bläuepilzen besiedelt worden. Dies ist ein optischer Mangel

hat jedoch auf die Festigkeit des Holzes keinen Einfluss. Es ist jedoch ein Zeichen, dass die Feuchtebelastung am Verwendungsort teilweise sehr hoch ist.

Das Bauwerk wird in regelmäßigen Intervallen durch die Planer hinsichtlich Schäden und Auffälligkeiten gemonitort.

3.4.2 Zusammenfassung

Bei der Untersuchung des 10 ½ Jahre alten Aussichtsturms am Pyramidenkogel wurde bei den analysierten Stellen kein Befall durch holzzerstörende Organismen festgestellt. Lediglich die Untersicht einer Decke auf der Terrasse zeigte dunkle Verfärbungen durch den Befall mit Bläuepilzen.

Es wurden einzelne größere Holzrisse festgestellt, die im Zuge des Monitorings näher beobachtet werden sollen, um mögliche Schäden früh genug zu detektieren.

Es zeigt, dass durch die sorgfältige Planung, Materialwahl und Ausführung des Bauwerks, trotz der extremen Exposition der Holzbauteile und Verzicht auf vorbeugenden chemischen Holzschutz und Beschichtung, Fäulnisschäden vermieden werden konnte.

Durch die regelmäßige Inspektion des Bauwerks kann auf mögliche Schäden früh reagiert werden.

3.5 Begutachtung einer Wohnhausanlage in Wien 1220

Im Rahmen einer gutachterlichen Stellungnahme befundeten Mitarbeiter:innen der Holzforschung Austria im Jahr 2022 Holzfassaden, Wintergärten, Holzsäulen und Fenster in einer Wohnhausanlage in 1220 Wien. Dabei handelte es sich um 26 Reihenhäuser, errichtet im Jahr 1988. Die Begutachtung bezog sich ausschließlich auf die zum Zeitpunkt der Befundaufnahme zugänglichen Teile, sowie auf zur Verfügung gestellte Unterlagen. Art und Ausmaß von Schäden, insbesondere durch holzzerstörende Organismen, der Zustand von Oberflächenbeschichtungen, Befestigungen von Fassadenbrettern und Verglasungen und notwendige Sanierungsmaßnahmen wurden festgehalten. Der Auftraggeber gestattete der Holzforschung Austria die erhobenen Daten für die Risikobewertung im Rahmen des Projektes TimberLoop heranzuziehen. Daten zu den verwendeten Beschichtungsprodukten waren ebenso wenig bekannt wie gesetzte chemische Holzschutzmaßnahmen. Es ist aber davon auszugehen, dass die eingesetzten Beschichtungsprodukte eine Ausrüstung gegen holzverfärbende und -zerstörende Pilze enthielten.

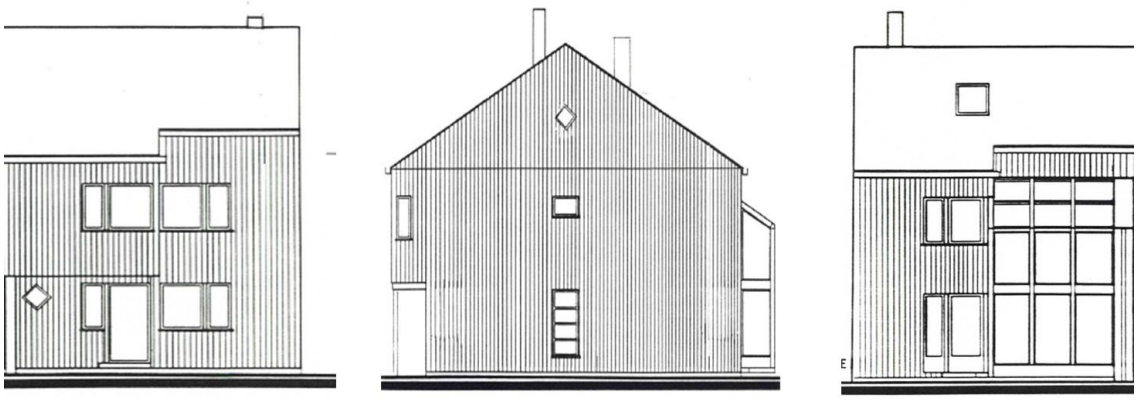


Abbildung 18: Plan-Ansicht Reihenhaus mit Holzfassaden, Wintergarten, Holzsäule und unterschiedlichen Fenstern

3.5.1 Holzfassaden

Bei den Holzfassaden handelte es sich um senkrechte Nut-Feder-Schalungen ohne Hinterlüftung, montiert auf einer waagrechten Lattung, die auf einer Spanplatte aufgebracht war. Als Befestigung waren teilweise sichtbare Nagelungen erkennbar, viele Bretter wurden sichtbar nachverschraubt, um die Befestigung instand zu setzen. Die Fassadenflächen waren geschoßweise unterteilt, wobei die horizontalen Fugen mit Metallprofilen ausgeführt waren. Die Ecken waren mit Winkelleisten abgedeckt. Die Sockelabstände betrugen ca. 17-20 cm. Die Fensterbänke waren mit seitlichen Hochzügen ausgeführt. Die Fassadenflächen waren dunkelbraun lasierend beschichtet. Nach Angaben des Bauträgers wurden die Fassaden seit der Errichtung drei Mal, in den Jahren 2001, 2006 und 2016, mit Wartungsanstrichen versehen. In Teilbereichen waren die Schalungsbretter erneuert.

Die Holzfassaden befanden sich in einem fortgeschritten gealterten Zustand, der dem gegebenen Zeitraum der Nutzung entspricht. Die Fassadenkonstruktion wurde entsprechend dem Stand der Technik zum Zeitraum der Errichtung der Häuser ausgeführt. Konstruktive Schwachstellen lagen an den unteren Brettenden vor, die nicht schräg hinterschnitten waren, womit eine Tropfkante fehlte, und die in den oberen Geschoßen teilweise an den Blechprofilen anstanden, wodurch die Abtrocknung verzögert wurde. Entsprechend wurden an 20 Häusern an den Holzfassaden in den zugänglichen Bereichen an jeweils mehreren Stellen Fäulnisschäden festgestellt, verursacht durch holzzerstörend Pilze aufgrund einer andauernden bzw. wiederkehrenden Durchfeuchtung der Fassadenbretter (Abbildung 19, links).

Die Beschichtungen zeigten bei den Häusern an allen Süd- und Westseiten sowie an mehreren ostseitigen Flächen weit fortgeschrittene Abwitterungserscheinungen mit Rissbildung und Abblätterungen (Abbildung 19, rechts). Darunter kamen vergraute Holzoberflächen zum Vorschein. Der Zustand der Beschichtungen auf diesen Flächen erfordert eine anstrichtechnische Instandsetzung (Renovierung, R). Dies entspricht dem Grenzzustand L-D2 gemäß ÖNORM B 3430-1 [19]. Durch häufigere Wartungsanstriche an

den stärker bewitterten Fassadenflächen hätten die Beschichtungen in einem etwas besseren Zustand erhalten werden können.

An den Nordseiten und mehreren ostseitigen Flächen waren deutlich geringere Abwitterungserscheinungen ohne Abblätterungen vorhanden. Aufgrund der Rissbildung der Oberflächen ist auf vielen dieser Flächen ein Wartungsanstrich (W) erforderlich. Dies entspricht dem Grenzzustand L-D1 gemäß ÖNORM B 3430-1.

Abbildung 19: Fäulnis an der Fassade (links) und abblätternde Beschichtung im Spritzwasserbereich (Regenrinne) über dem Vordach (rechts)

3.5.2 Wintergärten und Holzsäulen

An 21 der 26 Wintergärten waren an einzelnen Stellen zum Teil starke Fäulnisschäden vorhanden, sodass die statische Tragfähigkeit der Konstruktionsteile beeinträchtigt ist. Die Durchfeuchtungen sind auf ungünstige konstruktive Gegebenheiten zurückzuführen, durch die es zu Feuchteansammlungen kommt bzw. eine Abtrocknung erschwert wird. Die Schäden konzentrierten sich vorwiegend auf die Bereiche untere waagrechte Balken, senkrechte Steher an den Ecken der Wintergärten im Fußbereich, sowie am oberen Ende, waagrechte Balken oberhalb der Tür des Wintergartens (Abbildung 20, links) und senkrechte Abdeckleisten an den unteren Enden.

Die Konstruktionsteile der Wintergärten wiesen an den Innenflächen zum Teil starke Rissbildungen sowie Verfärbungen durch herabrinnendes Kondenswasser auf, das sich in der kalten Jahreszeit an den Glasscheiben bilden kann. In den allermeisten Fällen waren in diesen Bereichen keine Fäulnisschäden ausgebildet. Offensichtlich konnte die Feuchtigkeit ausreichend schnell wieder abtrocknen. Bei einigen Wintergärten waren ganze Konstruktionsteile bzw. Teile davon ausgetauscht.

Kritisch sind allerdings in dieser Hinsicht des Großteils nicht dicht an die Glasscheiben angeschlossenen Glashalteleisten zu sehen, die offensichtlich zum großen Teil noch die Originalleisten waren. Die Leisten wiesen zum Großteil keine Abdichtung zu den Glasscheiben

durch Silikon auf. In einzelnen Fällen wiesen sie Silikonabdichtungen auf, die zum Teil dicht an die Glasscheiben angeschlossen waren, zum größeren Teil hatten sie jedoch keine Verbindung zu den Glasscheiben. Die senkrechten Verglasungen waren in einigen Fällen im Laufe der Jahre ausgewechselt worden. Das abrinnende Kondenswasser gelangte hier hinter die Glashalteleisten und konnte sich dort über längere Zeit halten. In Wintergärten mit besonders starkem Besatz durch Pflanzen (und damit einer deutlich höheren relativen Luftfeuchtigkeit) waren die unteren Bereiche besonders stark verfärbt.

Die meisten Wintergärten wiesen an den bewitterten Außenflächen starke Abwitterungserscheinungen der Beschichtungen in Form von Rissbildungen und Abblätterungen auf. Die Wintergärten benötigten auf der Außenseite eine anstrichtechnische Wartung bzw. Renovierung. Sinngemäß galten auch hier die Ausführungen bei den Holzfassaden bezüglich des Zustandes der Beschichtungen an den süd- und westseitigen Fassaden.

Abbildung 20: Fäulnis oberhalb der Tür des Wintergartens (links) und Braunfäule im Fußbereich der Holzsäule (rechts)

An den Innenflächen der Holzteile wurde ursprünglich offensichtlich eine farblose Beschichtung verwendet, die zum Zeitpunkt der Untersuchung zum Teil nur noch in Resten vorhanden war. Starke Rissbildungen an den Innenseiten der Konstruktionsteile waren auf sehr hohe Innenraumtemperaturen im Sommer und in der Folge auf die starken Schwindbewegungen des Holzes zurückzuführen. Eine negative Auswirkung dieser Schwindrisse auf die Tragfähigkeit war nicht zu erwarten.

Bei den meisten Häusern wiesen die Säulen vor dem Haus im Fußbereich Schäden durch Braunfäule bzw. Weißfäule auf (Abbildung 20, rechts). Die Schäden gingen dabei in einigen Fällen über den gesamten Querschnitt, wodurch die statische Tragfähigkeit wesentlich beeinträchtigt ist.

3.5.3 Fenster

Die Bestandsfenster in den einzelnen Häusern waren bezüglich ihrer Größe, Öffnungsart und Lage im Haus ähnlich. Die Bestandsfenster befanden sich in einem, ihrer Nutzung und ihrem Alter von ca. 34 Jahren, entsprechenden Zustand. Die Fenster wurden entsprechend dem Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Fertigung ausgeführt. Zirka 40 Fenster wurden im Laufe der Zeit durch neue ersetzt, das entspricht, bei knapp 300 Fenstern, etwa 13 % der Fenster. Bei den Ersatzfenstern handelte es sich vorwiegend um Holzfenster und zu einem geringeren Teil um Holz/Alu-Fenster. Augenscheinlich wurden in der Vergangenheit bei Bedarf Reparaturen (z. B. Beschläge, Glastausch, Dichtungstausch) und Instandhaltungsmaßnahmen (z. B. Renovierungsanstrich) durchgeführt. Diese Maßnahmen haben dazu beigetragen, dass die Fenster im vorgefundenen Zustand erhalten werden konnten.

Bei 38 Fenstern wurden schwerwiegende Mängel (z.B. Fäulnis; Abbildung 21, rechts) festgestellt, aufgrund derer ein Fenstertausch empfohlen wurde. Bei allen diesen Fenstern wurden mehrere Mängel gleichzeitig festgestellt (z.B. Fäulnis, offene Eckverbindungen, Beschlag defekt, Oberflächenbeschichtung außen schadhaft). Bei fast der Hälfte der Fenster, für die ein Fenstertausch empfohlen wurde, handelte es sich um Fenster im Wintergarten.

Gesamt betrachtet wurden bei einem Großteil der Fenster (ca. 80 %) Mängel festgestellt, aufgrund derer Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind. Bei 46 Fenstern wurde in den Holzprofilen Fäulnis festgestellt. Die Eckverbindungen der Stöcke waren grundsätzlich in Ordnung. Einzelne Ausnahmen gab es nur bei den Fenstertüren in den Wintergärten. Bei 40 Fenstern wurden offene Flügeleckverbindungen festgestellt. Es handelte sich dabei um minimal offene Verbindungsfugen bis hin zu mehreren Millimeter breiten Spalten und Versatz zwischen den Flügelhölzern. Eine Häufung an weit offenen Flügeleckverbindungen gab es bei den Fenstertüren in den Wintergärten.

Oberflächenbeschichtung innen

Die Oberflächenbeschichtungen auf den Raumseiten und im Falzbereich waren bei den meisten deckend beschichteten Fenstern grundsätzlich intakt, wobei bei mehr als der Hälfte der Fenster kleinere, punktuelle, vorwiegend mechanische Schäden (z.B. Löcher von demontiertem Sichtschutz; Schäden aufgrund von streifenden Beschlagsteilen, Fehlbedienung, Haustieren, etc.) festgestellt wurden. Bei mehreren Fenstern wurde in der Vergangenheit augenscheinlich mindestens ein Wartungs- bzw. Renovierungsanstrich durchgeführt. Dabei wurden Dichtstofffugen teilweise überstrichen und Flügelfalzdichtungen dauerhaft mit Farbe verschmutzt.

Die raumseitigen Oberflächen einer Fenstertype waren augenscheinlich unbeschichtet bzw. lasierend beschichtet. Diese Oberflächen der Bestandsfenster waren in einem schlechteren Zustand als jene der deckend beschichteten Fenster und zeigten in allen Fällen durch Feuchtigkeit verursachte Verfärbungen. Des Weiteren wurden Risse, offene Fugen und bei lasierten Fenstern auch Abblätterungen festgestellt.

Oberflächenbeschichtung außen

Knapp zwei Drittel der Fenster zeigten Abwitterungserscheinungen an den äußeren Oberflächenbeschichtungen. Diese traten naturgemäß besonders in stärker bewitterten Bereichen (z.B. unteres Drittel der Fenster) auf. Nur wenige Abwitterungserscheinungen gab es vor allem bei jenen Fenstern, die vor direkter Bewitterung (teil-)geschützt waren, beispielsweise durch das auskragende Obergeschoß, außen montierten Sonnen- bzw. Insektenschutz oder Anbauten auf der Terrasse.

Die Oberflächenbeschichtungen der Fenster zeigten Abkreidung, offene Fugen (z.B. Brüstungsfugen), Risse (z.B. vom Hirnholz oder von Fugen ausgehend) und an den stärker abgewitterten Oberflächenbeschichtungen Abblätterungen (z.B. in den Eckbereichen bzw. ausgehend von offenen Fugen und Rissen; Abbildung 21, links)). Augenscheinlich wurden in der Vergangenheit Wartungs- und Renovierungsanstriche durchgeführt. Diese haben dazu beigetragen, dass die Oberflächenbeschichtungen außen in keinem schlechteren Zustand vorgefunden wurden. Durch häufigere Wartungsanstriche hätten die Beschichtungen in einem etwas besseren Zustand erhalten werden können. Bei den anstrichtechnischen Überarbeitungen wurden häufig Dichtstofffugen überstrichen und Flügelfalzdichtungen dauerhaft mit Farbe verschmutzt.

Abbildung 21: Starke Abwitterungserscheinungen (links) und Fäulnis (rechts)

Der Glasanschluss (Nassverglasung) zeigte bei mehr als einem Drittel der Fenster brüchige, poröse, abgelöste (abgerissene) oder schimmelige Dichtstofffugen. Dies wurde auf der Raumseite häufiger festgestellt als auf der Außenseite. Augenscheinlich wurden bei einem Großteil der Fenster die Dichtstofffugen im Zuge einer anstrichtechnischen Wartung oder Renovierung überstrichen, besonders auf der Außenseite.

Bei den allermeisten Fenstern waren Dampfdruckausgleichsöffnungen zur Glasfalzbelüftung in den Flügelecken vorhanden. Tendenziell waren diese Öffnungen jedoch eher zu klein dimensioniert und/oder waren nicht in allen Flügelecken eines Fensters. Teilweise waren die Öffnungen auch durch Anstriche oder Verschmutzungen ganz oder teilweise verschlossen. Bei einzelnen Tauschfenstern waren die Dampfdruckausgleichsöffnungen teilweise von der

Flügelfalzdichtung verschlossen. Bei den meisten Bestandsfenstern waren die Flügelfalzdichtungen intakt und die geschweißten Eckverbindungen dicht und geschlossen. Einzelne Bewohner klagten über Zugluft und Undichtheit der Fenster.

Die Regenschutzschienen des Typ 1 waren größtenteils intakt, der Wasserabfluss uneingeschränkt möglich, die Befestigung ausreichend und die Endkappen intakt. Bei einzelnen Fenstern waren Endkappen defekt (z.B. brüchig, fehlten oder wackelten), Regenschutzschienen verbogen bzw. Entwässerungsöffnungen verschlossen oder verschmutzt, sodass Wasser nicht nach außen abfließen konnte.

Die Regenschutzschienen des Typ 2 (Fenstertüren) waren in einem etwas schlechteren Zustand. Da die Endkappen bei diesem Typ direkt bewittert waren, zeigten diese Abwitterungserscheinungen und waren porös bzw. brüchig. Vereinzelt saßen die Endkappen nicht mehr fest oder wackelten. Ein paar Mal gab es bei Fenstertüren einen breiten Spalt zwischen der Endkappe der Regenschutzschiene und dem Stockprofil, wodurch Wasser in das Stockprofil fließen kann. Manchmal wackelten Regenschutzschienen oder die Entwässerungsöffnungen waren verschmutzt, sodass Wasser nicht abfließen konnte.

3.5.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sowohl bei den Holzfassaden, den Wintergärten, den Holzsäulen und den Fenstern hauptsächlich konstruktive Schwachstellen zu einer wiederkehrenden und länger andauernden Durchfeuchtung und damit zu Fäulnisschäden führten. Beispielsweise waren bei den Holzfassaden die unteren Brettenden nicht schräg hinterschnitten, womit eine Tropfkante fehlte und die oberen Brettenden teilweise an den Blechprofilen anstanden, womit die Abtrocknung verzögert wurde; bei den Wintergärten erfolgten zu nahe Anbauten von anderen Bauteilen, sodass ebenfalls das Austrocknen verhindert wurde; Holzsäulen standen mit dem Hirnholz direkt auf der Metallplatte der Aufständerung und reicherten derart Feuchte an; fehlende seitliche Anschlüsse der unteren Abdeckprofile der Verglasung oberhalb der Terrassentür führte zu einer Durchfeuchtung der anschließenden Konstruktionsteile usw.. Die weit fortgeschrittenen Abwitterungs-erscheinungen der Beschichtungen mit Rissbildung und Abblättern, hätten bereits zu einem früheren Zeitpunkt Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen gefordert.

Diese Fehler in der Konstruktion sind durch einen oberflächlich aufgebrachten chemischen Holzschutz wie er bei Fassaden und Fenstern üblich ist, nicht kompensierbar. Dringt Feuchtigkeit in tiefere Holzschichten vor und bleibt dort über längere Zeiträume aufrecht und sind Öffnungen (Fugen etc.) für den Eintritt von Pilzsporen vorhanden, kann ein oberflächlich aufgebrachter Holzschutz Schäden nicht verhindern. Ein oberflächlich aufgebrachter chemischer Holzschutz bewirkt einen Randschutz, der nur bei einer intakten Oberfläche wirken kann. In tieferen Bereichen sind in diesen Fällen schlicht und einfach keine schützenden Wirkstoffe vorhanden. Insofern kann chemischer Holzschutz auch nicht die regelmäßige Inspektion und notwendige Wartungs- und Instandhaltungsschritte ersetzen.

4 Befallsprozess und Feuchteschutz

Wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung eines Pilzbefalls ist die Holzfeuchtigkeit (siehe Pkt. 2). Beschichtungen sind in der Lage die Feuchteaufnahme von Holz zu begrenzen. Was Beschichtungen ohne chemischen Holzschutz gegen Befall durch Pilze zu leisten imstande sind, ob sie eventuell sogar ein Durchwachsen der Pilze verhindern können und wie der Befallsprozess durch Pilze erfolgt, wurde im Rahmen von Laborversuchen erforscht. Im Anschluss daran sollten diese Daten über die Kenntnis der effektiven Vorgänge bei der Etablierung von Pilzen auf und in Holzprodukten mit holzspezifischen Eigenschaften wie Wasseraufnahmefähigkeit und Dauerhaftigkeit und mit technischen Parametern wie Feuchteschutz durch Beschichtungen und Abdichtung von Holzverbindungen korreliert werden.

Die Projektpartner stellten den Großteil der für die Versuche benötigten Hölzer als auch die Modellbeschichtungssysteme zur Verfügung. Die Beschichtungssysteme wurden, in Hinblick auf die Beantwortung der Forschungsfrage, mit systematischem Verzicht auf Biozide, formuliert. Die Herstellung der Proben wurde durch die Holzforschung Austria durchgeführt, die Probenbeschichtung durch den Beschichtungshersteller.

Die biologischen Versuche selbst erfolgten mittels ausgewählter Basidiomyceten (holzzerstörende Pilze) und holzverfärbender Bläuepilze. Die Untersuchungen zur Erfassung und Dokumentation des Befallsprozesses wurden an den experimentellen Beschichtungssystemen und in den unterschiedlichen Versuchsanordnungen im Zeitverlauf ausgeführt. Besonderes Augenmerk lag auf dem Befall an neuralgischen Punkten. Die Untersuchungen erfolgten orientierend an Standardprüfmethoden, die für die jeweilige Fragestellung methodisch adaptiert werden mussten. Neben der Erfassung von Masseverlusten und visueller Bewertung lag der Hauptfokus auf der mikroskopischen Analyse der Ausbreitung von Pilzhyphen.

4.1 Versuche mit holzzerstörenden Pilzen

4.1.1 Material und Methoden

Die Versuche wurden in Anlehnung an ÖNORM EN 839 [20] durchgeführt. Dazu wurden Kiefernsplintholzstäbe der Dimension (25 ± 0,5) mm x (15 ± 0,5) x (1000 ± 5) mm hergestellt, die Hirnhölzer jeweils mit einem 2-Komponenten-Polyurethanharzlack versiegelt und zur Beschichtung an unseren Projektpartner gesandt. Dort wurden die Modellbeschichtungssysteme (Grundierung, Zwischen- und Deckbeschichtung) variiert in Schichtstärken von 40 µm, 80 µm und 120 µm aufgebracht. Die fertig beschichteten und getrockneten Hölzer wurden anschließend an der Holzforschung Austria in jeweils 50 (± 0,5) mm lange Probenkörper aufgetrennt. Die nun frei liegenden Hirnhölzer aller Proben wurden versiegelt,

sodass die Pilze nur über die beschichteten 4 Längsflächen in das Holzinnere eindringen konnten. Untersucht wurden 7 Varianten (siehe Tabelle 2): je 2 x Beschichtungsstärken von 40 µm, 80 µm und 120 µm ohne eine Verletzung der Probenoberfläche, zusätzlich eine 80 µm Variante, die an einer Probenoberfläche mit einer Verletzung versehen wurde. Die Verletzung bestand in einem 1 cm langen Gitterschnitt, der die Beschichtung bis zur Holzoberfläche durchdrang und einer Stoßbeanspruchung mit einer Stahlkugel mit 5 mm Durchmesser („Hagelschlag“) und einer maximalen Federdruckkraft, gemäß EN 438-2, Pkt. 20 [21]. Mikroskopische Aufnahmen der Verletzungen sind in Abbildung 22 zu sehen.

Der Unterschied zwischen den Varianten 1 – 3 (trocken) und 4 – 6 (Befeuchtung) bestand darin, dass die Proben der Varianten 4 – 6 vor der Versiegelung der Hirnhölzer im Holzinneren befeuchtet wurden. Diese Modifikation der Methode erfolgte, da nicht bekannt war, inwieweit das gewählte Beschichtungssystem mit Grundierung, Zwischen- und Deckbeschichtung eine Aufffeuchtung im Probeninneren zulässt. Diese ist Voraussetzung für Holzabbau durch Pilze und das Heranziehen des Masseverlustes als messbares Kriterium für die Beständigkeit bzw. das Durchwachsen der Pilzhyphen durch die Beschichtung.

Tabelle 2: Variantenplan für die Untersuchung mit holzzerstörenden Pilzen

Variante	Art	Schichtdicke	Verletzung
1	trocken	gering, ca. 40 µm	nein
2	trocken	mittel, ca. 80 µm	nein
3	trocken	hoch, ca. 120 µm	nein
4	Befeuchtung	gering, ca. 40 µm	nein
5	Befeuchtung	mittel, ca. 80 µm	nein
6	Befeuchtung	hoch, ca. 120 µm	nein
7	trocken	mittel, ca. 80 µm	ja

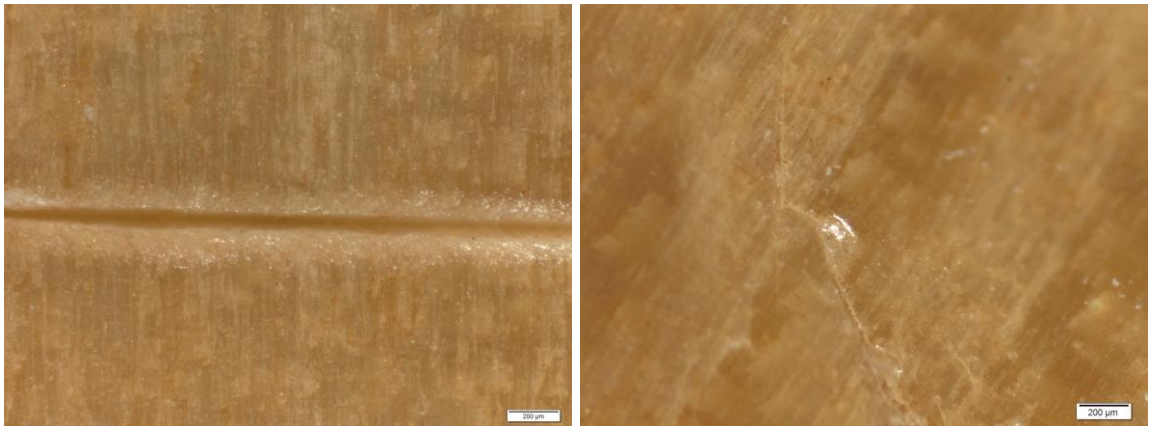


Abbildung 22: Verletzung der Probenoberfläche mittels Gitterschnitt (links) und „Hagelschlag“ (rechts)

Für die Pilzversuche wurden Versuchsgefäße mit einem Malz-Agar-Medium (5,0 % Malz, 2,0 % Agar) beschickt und nach dem Erkalten mit den Versuchspilzen *Coniophora puteana*, *Gloeophyllum trabeum* und *Rhodonia placenta* beimpft. Sobald die gesamte Oberfläche der Nährmedien vollständig vom Versuchspilz bewachsen war, wurden unter sterilen Bedingungen die mittels y-Bestrahlung sterilisierten Proben eingebracht. In jedes Versuchsgefäß wurde eine

imprägnierte Probe sowie eine unbehandelte Kontrollprobe eingebracht (Abbildung 23). Pro Pilz und Versuchsvariante wurden 6 Parallelproben verwendet. Um eventuelle versuchsbedingte, nicht auf Pilze zurückzuführende Masseänderungen einzubeziehen, wurden je Variante 6 gleich behandelte Prüfproben in mit Agar beschickte Versuchsgefäße ohne Pilze eingebaut. Auftretende Masseverluste wurden als Korrekturwerte bei der Kalkulation der Masseverluste rechnerisch einbezogen. Zur Überprüfung der Vitalität der Pilze wurden pro Pilz 8 unbehandelte Kontrollen angesetzt. Die beschickten Versuchsgefäße wurden 16 Wochen lang im Brutraum bei. (22 ± 2) °C und (70 ± 5) % rel. LF inkubiert.

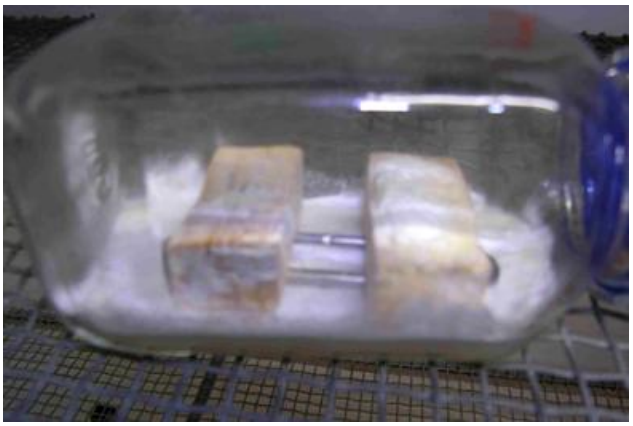


Abbildung 23: Beispiel eines mit 2 Proben (1 x beschichtet, 1x unbehandelte Kontrolle) beschickten Versuchsgefäßes

Nach 16 Wochen wurden die Proben aus den Versuchsgefäßen entnommen, von anhaftendem Myzel befreit, gewogen, getrocknet und erneut gewogen. Von jedem Probenkörper wurde der Masseverlust in Prozent der Anfangstrockenmasse, unter Verwendung des entsprechenden Korrekturwertes, berechnet. Von jeder Serie mit 6 Parallel-Proben pro Pilz wurde der mittlere Masseverlust berechnet.

4.1.2 Ergebnisse

Mit den unbehandelten Kontrollproben wurden nach 16 Wochen Pilzversuch mittlere Masseverluste von 46,7 % (*Coniophora puteana*), 25,3 % (*Gloeopyllum trabeum*) und 46,0 % (*Rhodonia placenta*) erzielt. Mit diesen Masseverlusten von deutlich > 20 % war sichergestellt, dass die Pilze ausreichend virulent waren. Die Ergebnisse der wirkstofffrei beschichteten Proben sind in Abbildung 24 als mittlere Masseverluste der 6 Parallelproben grafisch dargestellt.

Anhand der Ergebnisse und der erzielten Masseverluste ist ersichtlich, dass das eingesetzte wirkstofffreie Modellbeschichtungssystem keinen ausreichenden Schutz gegen das Durchwachsen von holzzerstörenden Pilzen bietet. Dabei weisen die eingesetzten 3 Pilzstämme sehr unterschiedliche Kapazitäten auf: Die höchsten Masseverluste wurden durch den Pilz *Rhodonia placenta* verursacht, gefolgt von *Coniophora puteana*. Der Pilz *Gloeophyllum trabeum* bewirkte bei allen Varianten Masseverluste unter 3,0 %, was bei einer

normgemäßen Prüfung von Holzschutzmitteln einer ausreichenden Schutzwirkung entspricht. *Gloeophyllum trabeum* ist, im Gegensatz zu *Rhodonia placenta* und *Coniophora puteana,* augenscheinlich nicht in der Lage die physikalisch-chemische Barriere der Beschichtung zu durchwachsen.

Generell wurden mit zunehmender Schichtdicke geringere Masseverluste erzielt. Das lässt auf einen Zusammenhang von Schichtdicke mit der notwendigen Zeit für das Durchwachsen der Beschichtungs-Barriere schließen. Die höchsten Masseverluste wurden an der Variante mit Verletzung erzielt. Dass Verletzungen ein rascheres Eindringen der Pilze in das Holzinnere ermöglichen, ist offensichtlich und schlüssig.

Die Varianten „trocken“ und „nass“ unterschieden sich im Ergebnis dadurch, dass bei den Varianten „nass“ im allgemeinen etwas höhere Masseverluste auftraten. Das aufgebrachte Beschichtungssysstem lässt also eine Auffeuchtung des Probeninneren auf für Pilzabbau notwendige Holzfeuchten sehr wohl zu, der Holzabbau kann aber rascher erfolgen, wenn die notwendige Holzfeuchte bereits zu Versuchsbeginn vorhanden ist. Bei der Variante 120 µm „trocken“ wurde mit keinem Pilz ein relevanter Masseverlust erzielt, bei der gleichen Variante „nass“ jedoch schon. Der Effekt ist somit wohl auf die verzögerte Auffeuchtung des Probeninneren aufgrund der dickeren Beschichtung zurückzuführen.

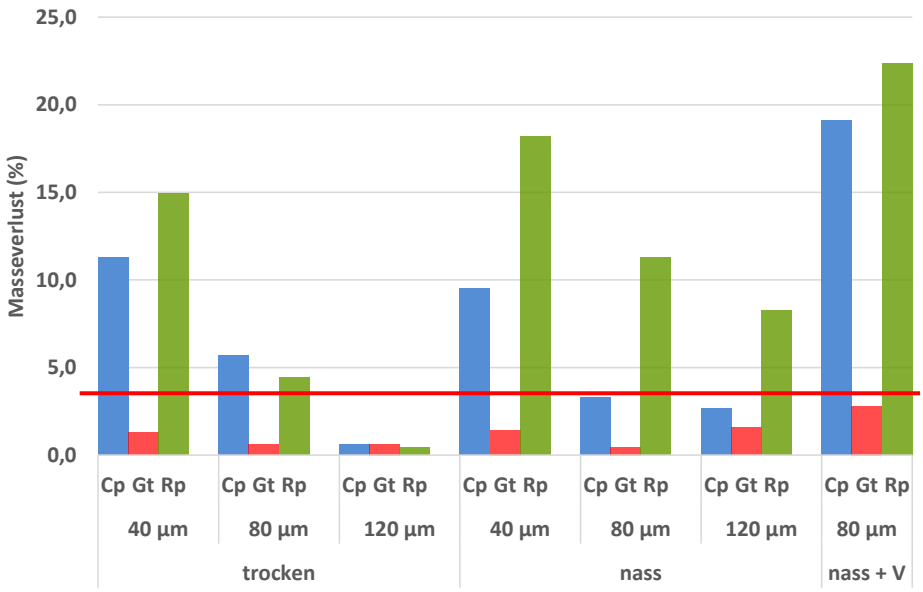


Abbildung 24: Mittlere Masseverluste der wirkstofffrei beschichteten Kiefernsplinthölzer, Varianten ohne (trocken) und mit (nass) Befeuchtung sowie mit einer Verletzung (V), Schichtdicken von 40 µm, 80 µm und 120 µm mit den Pilzen *Coniophora puteana* (Cp), *Gloeophyllum trabeum* (Gt) und *Rhodonia placenta* (Rp); rote Linie bei 3,0 % Masseverlust

Aus den Ergebnissen kann der Schluss gezogen werden, dass kritische Bauteile, die einer Gefährdung längerfristiger Durchfeuchtung ausgesetzt sind, mit einer wirkstofffreien Beschichtung alleine nicht vor Befall durch holzzerstörende Pilze geschützt werden können. Allerdings können dickere Schichten einen gewissen zeitlichen Schutz bewirken. Einerseits benötigen die Pilze zum Durchwachsen dickerer Schichten länger, andererseits verzögern

dickere Schichten das Auffeuchten des Holzinneren auf eine für Pilzabbau notwendige Holzfeuchte.

4.2 Versuche mit holzverfärbenden Pilzen

4.2.1 Material und Methoden

Die Versuche wurden in Anlehnung an ÖNORM EN 152 [22] durchgeführt. Dazu wurden Holzlatten der Dimension (40 ± 0,5) mm x (10 ± 0,5) x (1000 ± 5) mm hergestellt, die Hirnhölzer jeweils mit einem 2-Komponenten-Polyurethanharzlack versiegelt und zur Beschichtung an unseren Projektpartner gesandt. Dort wurden, wie bereits unter Pkt. 4.1 beschrieben, die Modellbeschichtungssysteme (Grundierung, Zwischen- und Deckbeschichtung) variiert in Schichtstärken von 40 µm, 80 µm und 120 µm aufgebracht.

Untersucht wurden 26 Varianten (siehe Tabelle 3): alle Kernhölzer (Kiefer, Lärche, Douglasie, Eiche sowie Fichte) wurden entsprechend ÖNORM EN 152 [22] mit einer beschichteten Probenoberfläche untersucht. Für die Kiefersplintholz- und die weiteren Fichtevarianten musste die Methode modifiziert werden. Dies erfolgte in Anlehnung an Van Acker [23] als „reversed-Methode“, indem alle 4 Längsflächen beschichtet wurden. Diese Versuchsanordnung entspricht der Produktanwendung in der Praxis (z.B. im Fensterbau), alle Oberflächen beschichtet, Fugen abgedichtet und keine unbeschichteten, frei liegenden Holzflächen, die einem unmittelbaren Bewuchs durch Bläuepilze ausgesetzt sind. Denn ohne bioziden Holzschutz würden diese bläueanfälligen Hölzer jedenfalls über die ungeschützten Holzflächen von den Bläuepilzen bewachsen werden.

Wie unter Pkt. 4.1.1 angeführt wurden die Beschichtungsstärken mit 40 µm, 80 µm und 120 µm variiert, 9 Varianten erhielten auf den Probenoberflächen Verletzungen, 2 davon wurden anschließend, vor der künstlichen Alterung, einer Wartung (leichter Anschliff, Reinigung, Trocknung und 2maliger Anstrich) unterzogen. Die Dauer des Pilzversuchs betrug 6 Wochen, 3 Varianten wurde die Dauer auf 3, 4 bzw. 5 Wochen verkürzt. Neben den wirkstofffreien Varianten (in Tabelle 3 mit WSF bezeichnet), wurden 5 Varianten mit einer mit Filmschutz ausgerüsteten Beschichtung behandelt.

Tabelle 3: Variantenplan für die Untersuchung mit holzverfärbenden Pilzen (WSF = wirkstofffrei)

Variante	Holzart	Methode	Schichtdicke	Beschichtung	Verletzung	Laufzeit
1	Kiefer Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
2	Lärche Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
3	Douglasie Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
4	Eiche Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
5	Kiefer Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja	6 Wochen
6	Lärche Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja	6 Wochen
7	Douglasie Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja	6 Wochen
8	Eiche Kern	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja	6 Wochen
9	Kiefer Splint	reversed	gering, ca. 40 µm	WSF	nein	6 Wochen
10	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
11	Kiefer Splint	reversed	hoch, ca. 120 µm	WSF	nein	6 Wochen
12	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja	6 Wochen
13	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja + Wartung	6 Wochen
14	Kiefer Splint	reversed	gering, ca. 40 µm	mit Filmschutz	nein	6 Wochen
15	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	mit Filmschutz	nein	6 Wochen
16	Kiefer Splint	reversed	hoch, ca. 120 µm	mit Filmschutz	nein	6 Wochen
17	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	mit Filmschutz	ja	6 Wochen
18	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	mit Filmschutz	ja + Wartung	6 Wochen
19	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	3 Wochen
20	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	4 Wochen
21	Kiefer Splint	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	5 Wochen
22	Fichte	normal	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
23	Fichte	reversed	gering, ca. 40 µm	WSF	nein	6 Wochen
24	Fichte	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	nein	6 Wochen
25	Fichte	reversed	hoch, ca. 120 µm	WSF	nein	6 Wochen
26	Fichte	reversed	mittel, ca. 80 µm	WSF	ja	6 Wochen

Die fertig beschichteten Hölzer wurden anschließend an der Holzforschung Austria in jeweils 110 (± 0,5) mm lange Probenkörper aufgetrennt, die frei liegenden Hirnhölzer aller Proben versiegelt. Anschließend wurden alle Proben einer künstlichen Alterung unterzogen. Diese erfolgte entsprechend EN 152, Bewitterungszyklus 1, über 672 Stunden mit einer Abfolge von Sprühnebel (4 L/min), Konditionierung und UV-Licht (Wellenlänge von 340 nm, Bestrahlungsstärke < 0,83 W/m²).

Nach der Trocknung der Proben wurden die nur oberflächlich beschichteten Kernhölzer auf eine Länge von 90 mm gekürzt, sodass die Hirnhölzer frei lagen. Bei den auf allen 4 Längsflächen beschichteten Proben verblieb die Versiegelung der Hirnhölzer. Die mittels y-Bestrahlung sterilisierten Proben wurden in mit Vermiculit (Aluminium-Eisen-Magnesium-Silikat zur Aufrechterhaltung der Feuchte) beschickte Versuchsgläser eingebaut. Die Beimpfung erfolgte mit einer Mischsporensuspension der Bläuepilze *Aureobasidium pullulans* und *Sydowia polyspora.* Je Variante wurden 4 Parallelproben angesetzt, zur Überprüfung der Vitalität der Pilze je 4 unbehandelte Kontrollen mit bzw. ohne künstliche Alterung. Die beschickten Versuchsgefäße wurden 3, 4, 5 bzw. 6 Wochen lang im Brutraum bei. (22 ± 2) °C und (70 ± 5) % rel. LF inkubiert.

Am Ende der Pilzprüfung wurden die Proben aus den Gefäßen entnommen und oberflächlich anhaftende Pilzreste durch Waschen entfernt. Die bewitterten Oberflächen wurden visuell nach der in Tabelle 4 angegebenen Bewertungsskala beurteilt und anschließend parallel zu

den beiden Stirnflächen aufgeschnitten, um eventuelle Innenverblauungen zu beurteilen. Mikroskopische Untersuchungen wurden durchgeführt, um eventuelle Eintrittspforten für die Bläuepilze zu eruieren.

Tabelle 4: Bewertungsskala für die bewitterte Probenoberfläche

Bewertungsstufe	Beschreibung
0	nicht verblaut
1	unbedeutend verblaut; Die Oberfläche weist maximal 5 kleine verblaute Stellen auf, die nicht größer sind als 1,5 mm in der Breite und 4 mm in der Länge.
2	verblaut; Die Oberfläche ist höchstens zu einem Drittel durchgehend oder zur Hälfte stellenweise bzw. streifenförmig verblaut.
3	stark verblaut; Die Oberfläche ist mehr als zu einem Drittel durchgehend oder mehr als zur Hälfte stellenweise verblaut.

4.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 25, Abbildung 28 und Abbildung 30 als mittlere Verblauungsgrade der 4 Parallelproben grafisch dargestellt. Die Kernhölzer von Kiefer, Lärche, Douglasie und Eiche sowie das Reifholz von Fichte sind als resistent gegen Bläuepilze eingestuft. Dennoch belegen die Versuchsergebnisse oberflächliche Verblauungen, wie auch in Abbildung 26 und Abbildung 27 auf Lärchen- und Kiefern-Kernholz ersichtlich. Dieser scheinbare Widerspruch ist bei näherer Betrachtung keiner. Bekanntermaßen vergrauen all diese Hölzer, wenn sie unbeschichtet sind. In diesen Vergrauungsprozess sind neben den photochemischen und physikalischen Vorgängen (Abbau von Lignin durch UV-Licht und Auswaschung der Lignin-Bestandteile) immer auch Pilze beteiligt, die sich auf dem Holz ansiedeln. Insofern ist es nicht überraschend, dass diese Hölzer oberflächlich von Bläuepilzen bewachsen werden können. Das Kern- bzw. Reifholz dieser Hölzer gilt als resistent, da es nicht, wie z.B. das Splintholz von Kiefer, komplett von Bläuepilzen durchwachsen und dabei verfärbt wird.

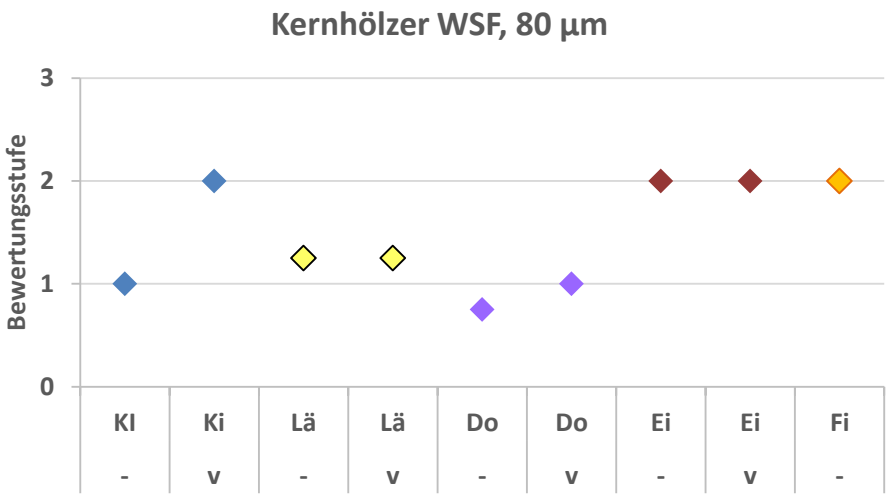


Abbildung 25: Mittlere Verblauungsgrade der wirkstofffrei (WSF) beschichteten Kernhölzer ohne und mit Verletzung (V), Schichtdicke von 80 µm (Ki = Kiefer, Lä = Lärche, Do = Douglasie, Ei = Eiche, Fi = Fichte)

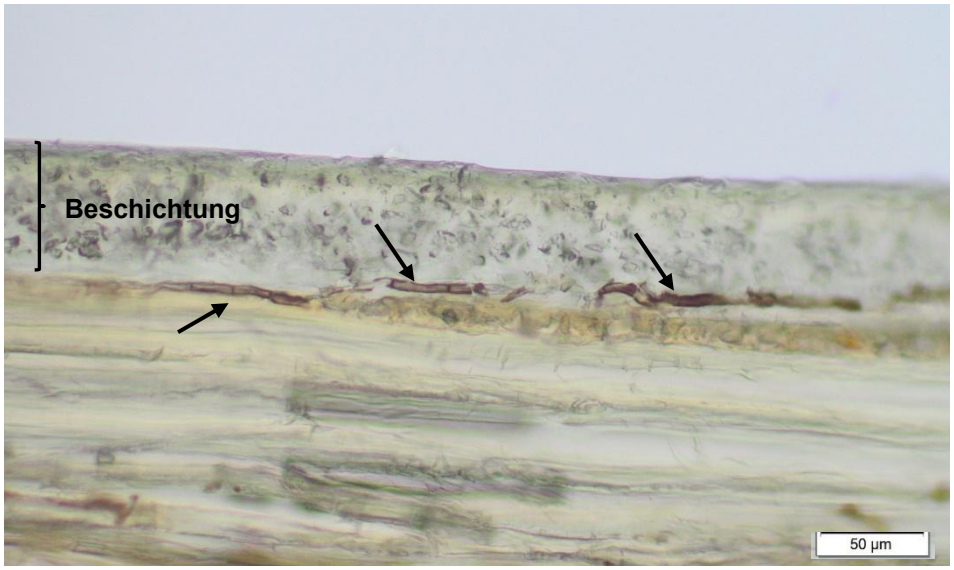


Abbildung 26: Lärchen-Kernholz mit Bewuchs durch Bläuepilze (Pfeile), direkt unter der Beschichtung, auf der Holzoberfläche

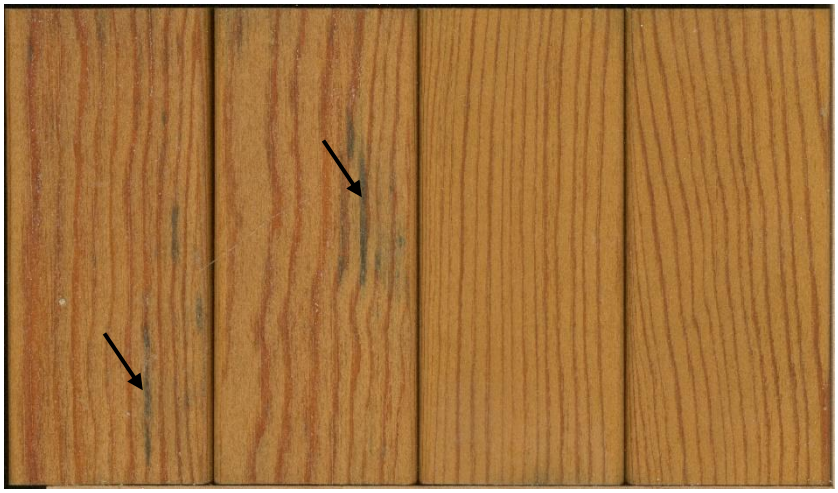


Abbildung 27: Kiefern-Kernholz mit oberflächlichem Bewuchs durch Bläuepilze (Pfeile) auf 2 von 4 Proben

Wie in Abbildung 28 zu sehen ist, besteht ein Zusammenhang zwischen der Schichtdicke und der Verblauung der Oberfläche. Wurde bei dem wirkstofffrei beschichteten Kiefernsplintholz, bei 40 µm Schichtstärke noch ein mittlerer Verblauungsgrad von 2,5 erzielt, lag dieser bei einer Schichtstärke von 80 µm nur noch bei 0,5. Eine Schichtstärke von 40 µm stellte offensichtlich keine ausreichende Barriere gegen das Durchwachsen von Bläuepilzen dar. Bei einer Schichtdicke von 80 µm waren hingegen Luftblasen oder Stellen mit einer verminderten Schichtdicke als Eintrittspforten für Bläuepilze notwendig (Abbildung 29). Bei 120 µm Schichtdicke erfolgte keine Verblauung der Probenoberflächen. Verletzungen bewirkten eine etwas stärkere Verblauung, erfolgte vor der Pilzversuch eine Wartung der Verletzung, wurde keine Verblauung registriert.

Mit der mit Filmschutz ausgestatteten Beschichtung auf Kiefernsplintholz wurden sehr ähnliche Resultate erzielt. Bei 40 µm Schichtdicke waren mit Filmschutz etwas geringere Verblauungen (mittlerer Verblauungsgrad von 1,8) vorhanden als mit der wirkstofffreien Variante. Je länger der „Befallsdruck“ ist, d.h. je länger eine Feuchtebelastung besteht, desto größer ist das Risiko eines Bläuebewuchses (Abbildung 30). Wie bereits zuvor erwähnt, waren bei einer Schichtdicke von 80 µm allerdings Luftblasen oder Stellen mit einer verminderten Schichtdicke als Eintrittspforten für Bläuepilze notwendig.

Aus den Ergebnissen kann der Schluss gezogen werden, dass eine wirkstofffreie Beschichtung ein ausreichender Schutz gegen das Durchwachsen von Bläuepilzen sein kann. Dabei ist eine ausreichende Schichtstärke notwendig, um eine Barriere gegen das Eindringen von Bläuepilzen zu bilden. Luftblasen, Verletzungen wie kleine Beschichtungsrisse oder Stellen mit verminderter Schichtdicke stellen Eintrittspforten für Bläuepilze dar. Das Risiko eines Bläuebewuchses steigt mit der Dauer der Feuchtebelastung. Einschränkend anzumerken ist, dass diese Erkenntnisse für das im Rahmen dieses Forschungsprojektes herangezogene Modellbeschichtungssystems gelten und nicht 1:1 auf alle Beschichtungssysteme umgelegt werden können.

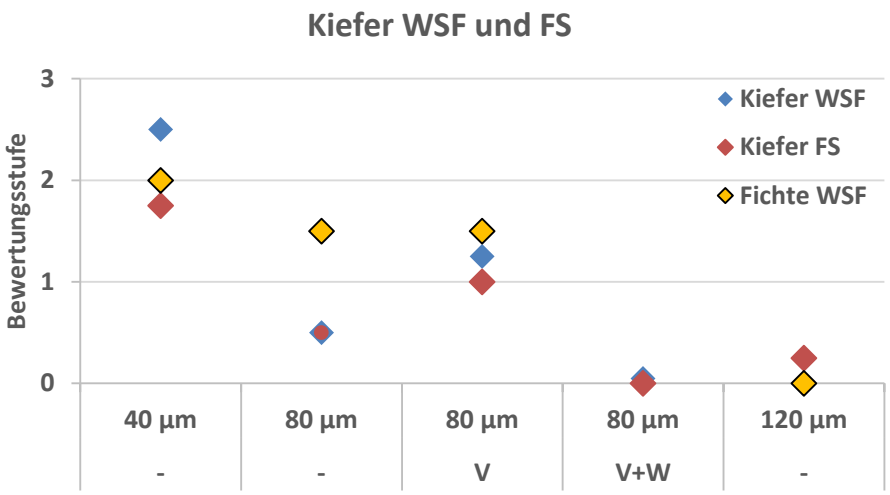


Abbildung 28: Mittlere Verblauungsgrade der beschichteten Kiefernsplinthölzer und von Fichte (WSF = wirkstofffrei; FS = Filmschutz), ohne und mit Verletzung (V) bzw. mit anschließender Wartung (W), Schichtdicken von 40 µm, 80 µm und 120 µm

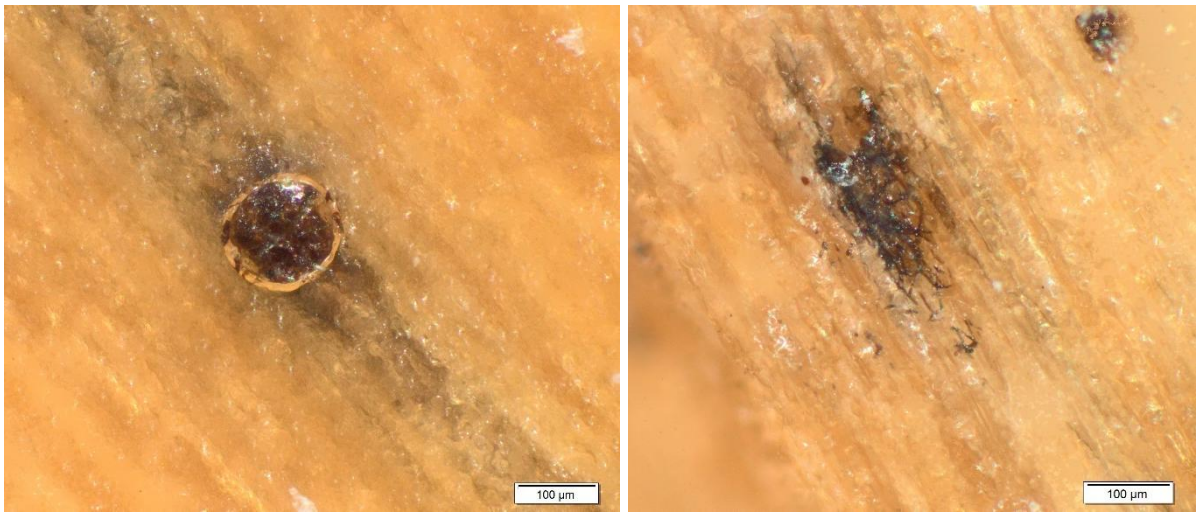


Abbildung 29: Luftblasen (links) und verminderte Schichtdicke (rechts) als Eintrittspforten für holzverfärbende Pilze

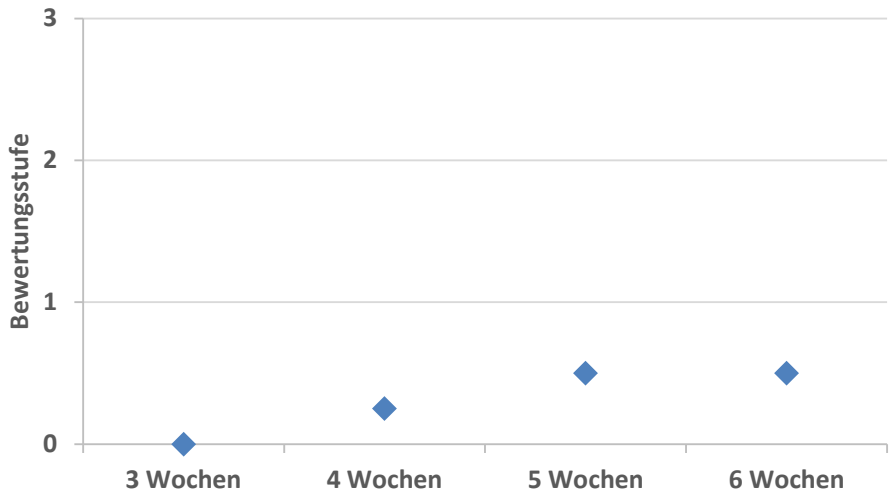


Abbildung 30: Mittlere Verblauungsgrade der wirkstofffrei beschichteten Kiefernsplinthölzer im Zeitverlauf, ohne Verletzung, Schichtdicke jeweils 80 µm

4.3 Versuche zur Wasseraufnahme von Holzarten

4.3.1 Material und Methoden

Die Versuche wurden in Anlehnung an ÖNORM EN 927-5 [24] durchgeführt. Dazu wurden je 8 Holzproben mit der Dimension 70 mm Breite, 20 mm Dicke und 150 mm Länge aus dem Kernholz der Holzarten Kiefer, Eiche, Douglasie und Lärche und dem Splintholz der Kiefer hergestellt. Die Proben aus Fichtenholz, bei dem zwischen Splint- und Reifholz augenscheinlich schwer untersieden werden kann, wurden aus gealtertem Holz und Holz im „neuen Zustand“ hergestellt. Das gealterte Fichtenholz stammte von einem alten Getreidespeicher im Waldviertel (nördliches Niederösterreich) aus dem 17. Jahrhundert (siehe Bericht zu Kleinvolumige Holzbauprodukte aus Altholz, Pkt. 2.2) und es wurden 12 Proben daraus hergestellt.

Die Proben wurden im Klimaraum bei 20 ± 2 ° C und 65 ± 5 % relativer Luftfeuchte, bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz, gelagert. Anschießens wurden die Proben rundum, bis auf die Prüffläche, zweimal mit einem 2K-Epoxidharz Lack versiegelt und erneut bis zur Gewichtskonstanz im Klimaraum gelagert. Vor Beginn der Wasserlagerung wurde die Prüffläche der Proben aus dem Mittelwert der mittels Schiebelehre bestimmten Breite (n=3) und Länge (n=2) ermittelt.

Für die Bestimmung der Wasseraufnahme wurde die Masse der Proben vor Beginn der Wasserlagerung und nach 6, 24, 48 und 72 Stunden Wasserlagerung (Proben schwimmen mit der Prüffläche nach unten in einer Wasserwanne) gravimetrisch bestimmt. Die Rücktrocknung erfolgte im Klimaraum bei 20 ± 2 ° C und 65 ± 5 % relativer Luftfeuchte, wobei die Masse nach 6, 24, 96, 168, 267, 532, 600 und 768 Stunden gravimetrisch bestimmt wurde.

Aus der Masseänderung der Proben und der Prüffläche wurde die Wasseraufnahme in Gramm je m² für jeden Messzeitpunkt bestimmt. Aus der Masseänderung und der Masse der Proben vor dem Versiegen, unter Annahme von 12 % Holzfeuchte zu diesem Zeitpunkt, wurde die mittlere Holzfeuchte der Probe im Zuge der Wasserlagerung und der Rücktrocknung für jeden Messzeitpunkt näherungsweise ermittelt.

4.3.2 Ergebnisse

In Abbildung 31 ist der Anstieg der Holzfeuchte im Zuge der Wasserlagerung als Boxplot Grafik aller Proben dargestellt. Vor der Wasserlagerung wurde eine konstante Holzfeuchte von 12 % bei Lagerung im Klimaraum bei 20 ± 2 ° C und 65 ± 5 % relativer Luftfeuchte angenommen. Die Holzfeuchte entspricht dem Mittelwert über den Probenquerschnitt, wobei bei der Wasserlagerung von einem Feuchtegradienten mit hoher Feuchte nahe der Prüffläche und 12 % Holzfeuchte nahe der Rückseite der Probe ausgegangen werden kann. Mit zunehmender Wasserlagerungszeit wird das Wasser durch kapillaren Wassertransport und Diffusion von der Prüffläche in das Innere der Probe transportiert.

Während der 72-stündigen Wasserlagerung zeigte das Kernholz der Kiefer den geringsten Anstieg auf im Mittelwert von 14,8 % Holzfeuchte, gefolgt vom Kernholz der Eiche mit 16,3 % und Kernholz der Douglasie mit 16,8 %. Das Lärchenholz zeigte von allen untersuchten Kernhölzern mit 18,4 % den höchsten Anstieg. Die Streuung der Werte zwischen den einzelnen Proben bei den untersuchten Kernholzproben war gering, die Proben aus Fichtenholz und aus dem Splintholz aus Kiefer streuten hingegen deutlich mehr. Mit einem Holzfeuchteanstieg im Mittelwert auf 24,6 % bei „neuem Fichtenholz“ und 24,9 % bei Fichte Altholz aus dem 17. Jhdt. war bei diesen Varianten kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Den höchsten Anstieg der Holzfeuchte im Mittelwert zeigten die Proben aus dem Splintholz der Kiefer auf 35,0 °. Das Splintholz der Kiefer erreichte nach 6 Stunden Wasserlagerung das Feuchteniveau, das Fichtenholz erst nach 72 Stunden erreichte.

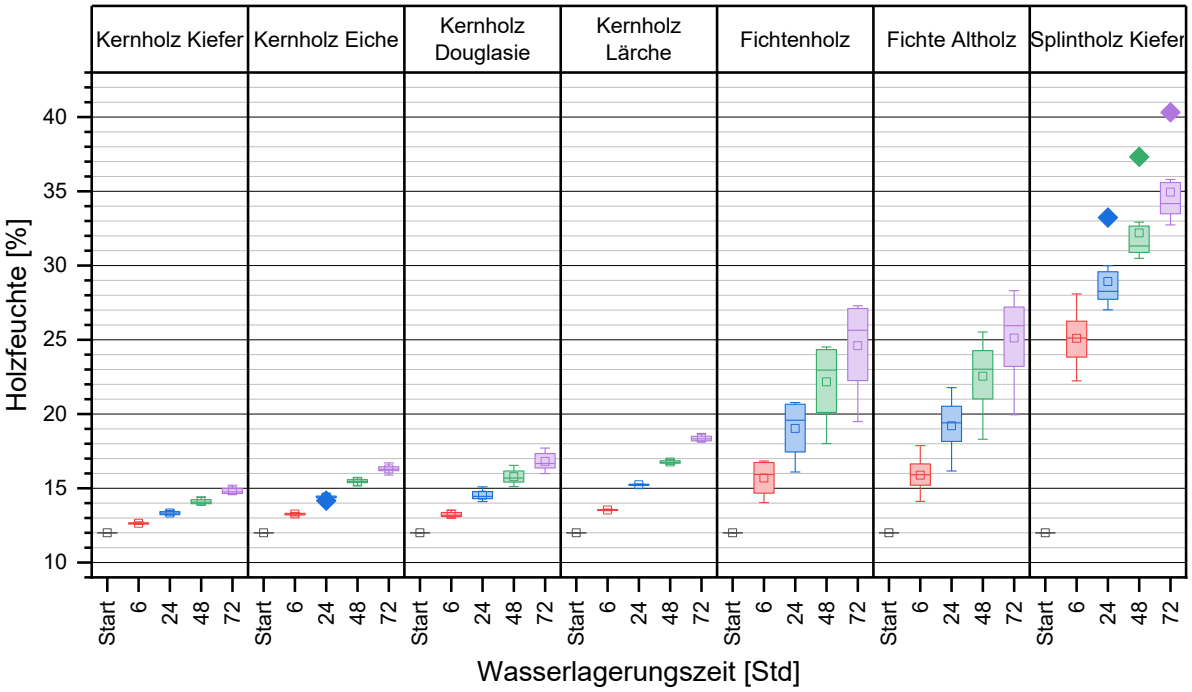


Abbildung 31: Anstieg der über den Probenquerschnitt gemittelten Holzfeuchte im Zuge der Wasserlagerung von Kernholz unterschiedlicher Holzarten, Kiefernsplintholz, Fichtenholz und Fichte Altholz (aus dem 17. Jhd.)

In Abbildung 32 ist der Anstieg der über den Probenquerschnitt gemittelten Holzfeuchte im Zuge der Wasserlagerung und der Rückgang im Zuge der Lagerung im Klimaraum bei 20 ± 2 ° C und 65 ± 5 % relativer Luftfeuchte als Mittelwert der untersuchten Proben dargestellt. Nach 72 Stunden Wasserlagerung und mehr als doppelt so langen Rücktrocknung (240 Stunden Gesamtprüfzeit) lag die Holzfeuchte von Kiefer Splintholz im Mittelwert bei 16,7 %, Fichte Altholz bei 14,2 %, Fichte bei 14,0 %, Lärche Kernholz bei 13,2 %, Douglasie Kernholz bei 13,0 %, Eiche Kernholz bei 12,8 % und Kiefer Kernholz bei 12,5 %. Die Reihung der Varianten nach dem Holzfeuchteanstieg nach der Wasserlagerung blieb auch nach der Rücktrocknung bestehen. Es hob sich keine Holzart durch eine besonders rasche Rücktrocknung hervor.

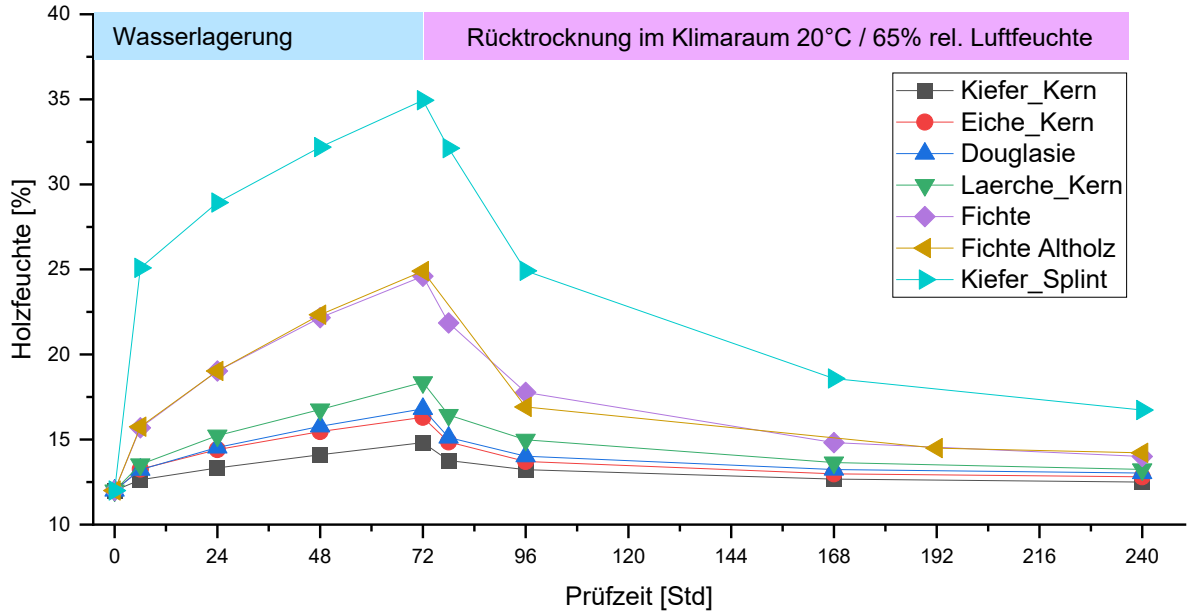


Abbildung 32: Verlauf der über den Probenquerschnitt gemittelten Holzfeuchte im Zuge der Wasserlagerung und Rücktrocknung von Kernholz unterschiedlicher Holzarten, Kiefernsplintholz, Fichtenholz und Fichte Altholz (aus dem 17. Jhd.)

4.3.3 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigten den Einfluss der Holzart und ob Kern- oder Splintholz. Alle untersuchten Kernhölzer zeigten in der Wasserlagerung deutlich niedrigere Holzfeuchteanstiege als Fichtenholz, bei dem zwischen Splint- und Reifholz augenscheinlich nicht unterschieden werden kann. Den höchsten Anstieg zeigte das Splintholz aus Kiefer, welches bereits nach 6 Stunden Wasserlagerung den für einen Befall durch holzzerstörende Pilze kritischen Bereich von 20 % um mehr als 5 % überschritten hat. Das untersuchte Fichtenholz aus dem 17. Jhdt. verhielt sich gleich wir „neues Fichtenholz“.

Neben den Holzinhaltstoffen ist eine geringe Feuchteaufnahmegeschwindigkeit in der Praxis ein wesentlicher Faktor einen Pilzbefall hintanzuhalten. Beschichtungen können durch ihre Feuchteschutzeigenschaften die Feuchteaufnahme in das Holz reduzieren. Beschichtungen für Fenster dürfen bei der Prüfung der Wasserdurchlässigkeit mit Fichtenholz gemäß EN 927-5 maximal 175 g/m² Wasser in 72 Stunden aufnehmen, was einer Feuchtezunahme auf ca. 14 % Holzfeuchte entspricht. Bei Fensterbeschichtungen mit hohem Feuchteschutz kommt es bei der Prüfung nur auf einen Anstieg auf 13 % Holzfeuchte.

Die oben angegebenen Werte beziehen sich auf die Wasseraufnahme über die Holzlängsflächen. Untersuchungen der Wasseraufnahme über das Hirnholz an der Holzforschung Austria haben bei unbeschichteten Fichten-Hirnholzflächen (6400 g/m² in 72 Stunden) eine um ca. 6,5-fach höhere Wasseraufnahme gezeigt als bei Holzlängsflächen (985 g/m² in 72 Stunden). Spezielle Beschichtungsprodukte zum Schutz des Hirnholzes können die

Wasseraufnahme in 72 Stunden über Hirnholz auf 140 g/m² (Imprägnierung + 2-Schichtaufbau) oder auf 80 g/m² (Imprägnierung + 3-Schichtaufbau) reduzieren.

5 Konzeptentwicklung und Validierung zur Befallsvermeidung

Aus den gewonnenen Kenntnissen der effektiven Vorgänge bei der Etablierung von Pilzen auf und in Holzprodukten mit besonderem Fokus auf die unterschiedlichen Zonen der Proben (z.B. anatomische Richtung, oberflächennahe, verleimte Zone) und der daraus abgeleiteten Neubewertung des Risikos eines Schädlingsbefalls wurden Konzepte zur Befallsvermeidung erstellt. Durch systematische Versuche sollte die Wirkung von holzschutzmittelfreien Beschichtungen hinsichtlich ihres Feuchteschutzes, der Abdichtung von Holzverbindungen und des Witterungsschutzes untersucht werden. In Alterungsversuchen wurde das Potenzial zur Vermeidung der Etablierung von Wachstumsbedingungen für Pilze dynamisch untersucht und das Risiko des Versagens von Schutzkonzepten bewertet. Holzspezifische Eigenschaften wie die Wasseraufnahmefähigkeit und natürliche Dauerhaftigkeit potenziell resistenterer Hölzer wie das Kernholz der Kiefer, Lärche, Douglasie oder Eiche wurden mit den gewonnenen Erkenntnissen zum Feuchteschutz durch Beschichtungen und Abdichtungen von Holzverbindungen abgeglichen. Diese Daten wurden in Bezug mit der Risikobewertung für Befall durch holzverfärbende und -zerstörende Pilze und im Vergleich zur Referenzholzart Kiefer interpretiert.

5.1.1 Material und Methoden

Die durchgeführten Untersuchungen zum Befallsprozess erlauben eine grundsätzliche Beurteilung des Beschichtungsfilms bzw. des Beschichtungssystems zur Reduktion des Befalls durch Bläuepilze und holzzerstörende Pilze. Diese Untersuchungen wurden an fehlerfreien Proben mit einfacher Probengeometrie durchgeführt. Bei Holzbauteilen sind die Geometrien komplexer was sich auf den Befallsprozess auswirkt. Konzepte zur Befallsvermeidung müssen auch bei komplexen Bauteilen funktionieren.

Die gegenständlichen Versuche hatten das Ziel an bewitterten Fensterstockrahmen, welche besonders im Bereich der Eckverbindung komplexe Geometrien aufweisen, den Befallsprozess zu beobachten. Folgende Versuchsschritte waren geplant:

- Herstellung von beschichteten Fensterstockrahmen
- Bestimmung der Masse vor der Bewitterung
- Schnellbewitterung der Außenflächen der Fensterstockrahmen im QUV-Schnellbewitterungsgerät in Anlehnung an ÖNORM EN 927-6 [25] mit

Dokumentation der augenscheinlichen Veränderungen und Änderung der Masse

- Entnahme der vier Fensterecken je Rahmen
- Konditionierung bei 20°C und 65 % rel. Luftfeuchte
- Versiegelung der Schnittflächen
- Sterilisierung (Gammabestrahlung)
- Pilzversuche (je zwei Fensterecken je Variante in Bläueversuch und Versuch mit holzzerstörenden Pilzen) mit Bestimmung der Masseänderung und auftrennen der Fensterecken für eine augenscheinliche Beurteilung des Pilzbefalls

Mit den Projektpartnern in AP5 wurde der in Tabelle 5 aufgelistete Variantenplan erarbeitet. Darin wurden die Holzart Fichte und Kiefer in den Schichtdicken 40 µm und 80 µm variiert. Die Beschichtungssysteme waren ohne Holzschutzmittel, mit Filmschutz und mit Holzschutzmitteln mit vorbeugender Wirkung gegen Bläue (B) und holzzerstörende Pilze (P) ausgerüstet. Die Rahmenecken wurden mit und ohne V-Fugenfüller ausgeführt.

Tabelle 5: Varianten Versuchsplan Befallsvermeidung

Variante	Holzart	Schichtdicke	V-Fugenfüller	Holzschutzmittel
1	Kiefer	gering ca. 40 µm	ja	ja B+P
2	Kiefer	gering ca. 40 µm	ja	nein
3	Kiefer	gering ca. 40 µm	nein	ja B+P
4	Kiefer	gering ca. 40 µm	nein	nein
5	Kiefer	mittel ca. 80 µm	ja	ja B+P
6	Kiefer	mittel ca. 80 µm	ja	Filmschutz
7	Kiefer	mittel ca. 80 µm	ja	nein
8	Kiefer	mittel ca. 80 µm	nein	ja B+P
9	Kiefer	mittel ca. 80 µm	nein	nein
10	Fichte	mittel ca. 80 µm	ja	ja B+P
11	Fichte	mittel ca. 80 µm	ja	Filmschutz
12	Fichte	mittel ca. 80 µm	ja	nein

Von Fa. Gaulhofer wurden Fensterstockrahmenecken mit dem in Abbildung 33 dargestellten Fensterstockprofil hergestellt. Das Profil war auf allen vier Rahmenseiten gleich und ohne der Schaumnut auf der Stockaußenseite gefertigt. Produktionsbedingt wurden die Rahmen größer gefertigt und nach dem Verleimen der Rahmenecken auf ein Stockaußenmaß von 290 mm x 240 mm mit einem Stoß in der Mitte jeder Rahmenseite gefertigt. Die Fensterrahmen wurde von Fa. Adler mit den in Tabelle 5 aufgelisteten Varianten beschichtet und an Holzforschung Austria zur Untersuchung übersendet.

Die Dichtungsnut für die äußere Stockdichtung wurde vor Beginn der Versuche mit Dichtmasse verschlossen, die Längsstöße der Rahmenseiten wurden auf den Außenflächen

und der Außenseite des Fensterstocks mit einem Alu kaschiertem Butylband gegen Feuchteeintritt verschlossen.

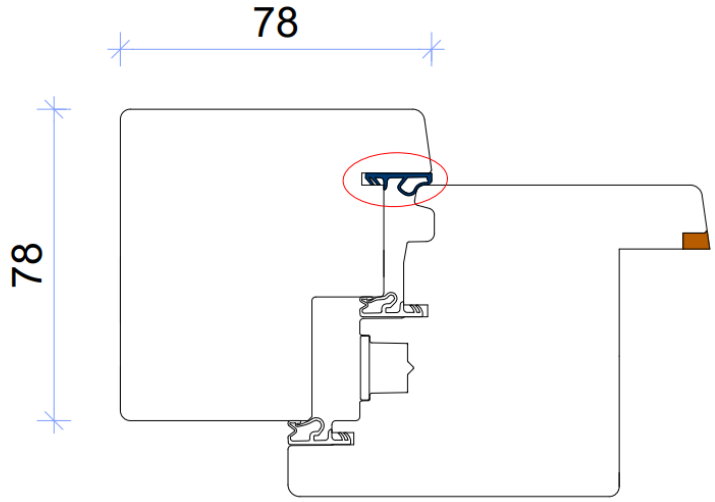


Abbildung 33: Fensterstockprofil für die Untersuchungen zur Befallsvermeidung

Für die Durchführung der Schnellbewitterung wurden spezielle Rahmen für die Bewitterung hergestellt, in welche die Fensterstockrahmen gespannt wurden (Abbildung 34). Die Exposition entsprach, abgesehen von der unteren horizontalen Stockinnenkante, grundsätzlich eine praxisnahmen Einbausituation.

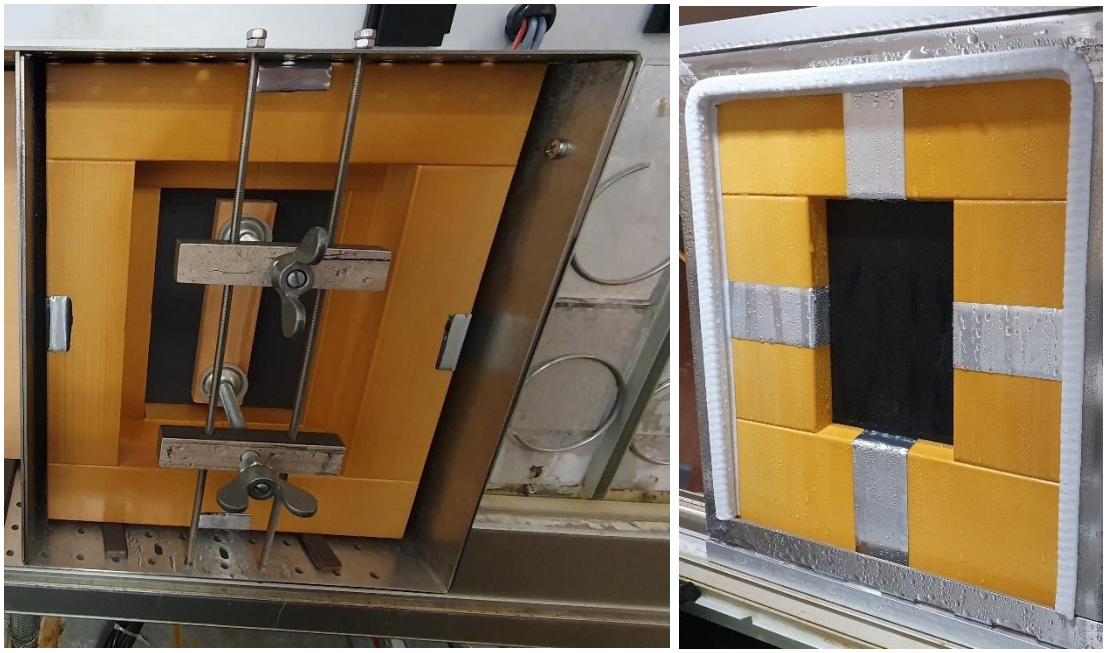


Abbildung 34: Spannvorrichtung für den Fensterstockrahmen in den Bewitterungsrahmen (links); im QUV-Schnellbewitterungsgerät exponierte Flächen mit Alu kaschiertem Butylband zum Schutz der Verbindungsstöße der Rahmen (rechts)

5.1.2 Ergebnisse

Die Versuche mussten nach einer Woche Schnellbewitterung abgebrochen werden. Die Fensterstockrahmen zeigten Verformungen und Quellungen die weit über ein übliches Erscheinungsbild in der Praxis hinausgingen. Besonders die Rahmen aus Kiefernholz wiesen extreme Verformungen und zum Teil Delaminierung der Schlitz- und Zapfenverbindung, wie in Abbildung 35 dargestellt, auf.

Aus der Erkenntnis der Untersuchungen zum Befallsprozess wo bereits kleinste Beschichtungsrisse und Schwächung der Schichtdicke z.B. durch Luftblasen Eintrittspforten für Pilze waren, war ein Aussetzen der stark verformten Rahmenecken einem Pilzversuch nicht sinnvoll, da die Risse und Öffnungen im Bereich der Rahmeneckverbindung zu groß waren und ein Befall durch die Pilze vorhersehbar.

Festgestellt wurde, dass die Verformungen und Delaminierungen an den Rahmenecken aus Fichtenholz deutlich geringer waren als jene aus Kiefernholz, was beim Vergleich von Abbildung 36 für Kiefernholz und Abbildung 37 für Fichtenholz ersichtlich ist. Dies stimmt mit der mehr als vierfach höheren Feuchtezunahme bei Kiefernholz im Vergleich zu Fichtenholz nach einer Woche Schnellbewitterung in Abbildung 38 überein.

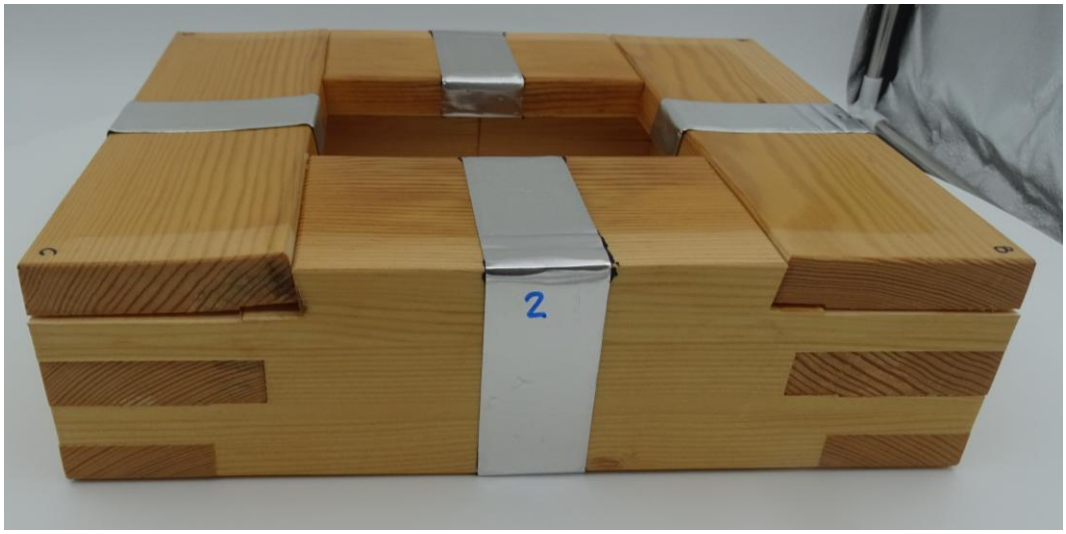


Abbildung 35: Verformung der Rahmeneckverbindung und Delaminierung der Schlitz-Zapfen-Verbindung am Beispiel von Variante 2 (Kiefer, 40 µm, mit V-Fugensiegel, ohne Holzschutz)

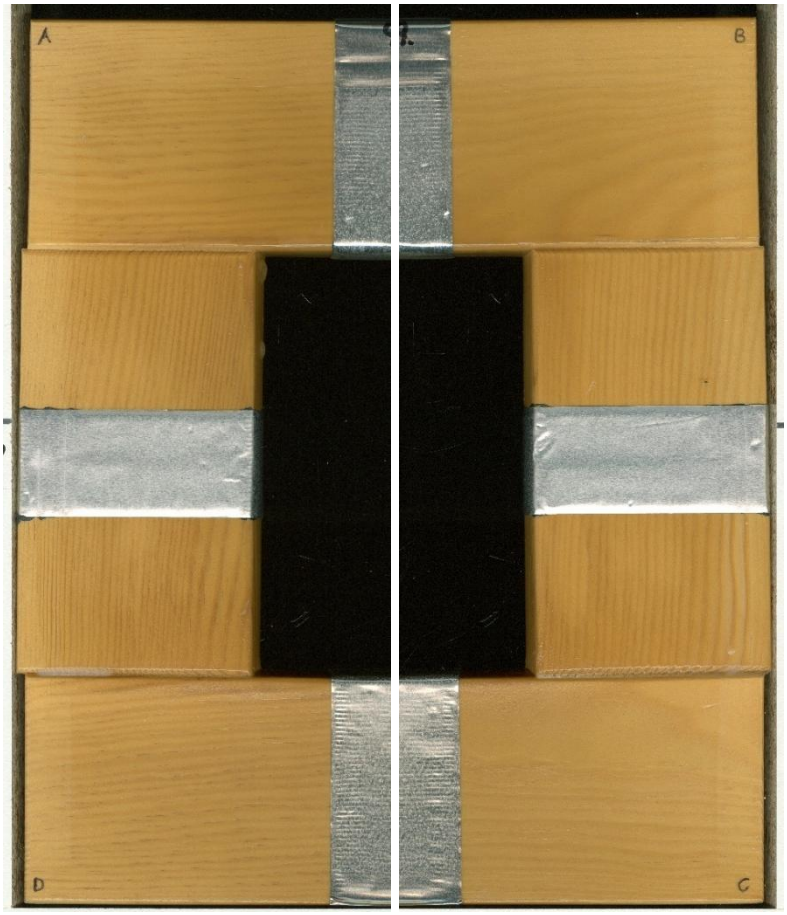


Abbildung 36: Scan der bewitterten Außenfläche - Versatz zwischen Längs- und Querholz bei den Rahmeneckverbindungen am Beispiel von Variante 9 (Kiefer, 80 µm, mit V-Fugensiegel, ohne Holzschutz)

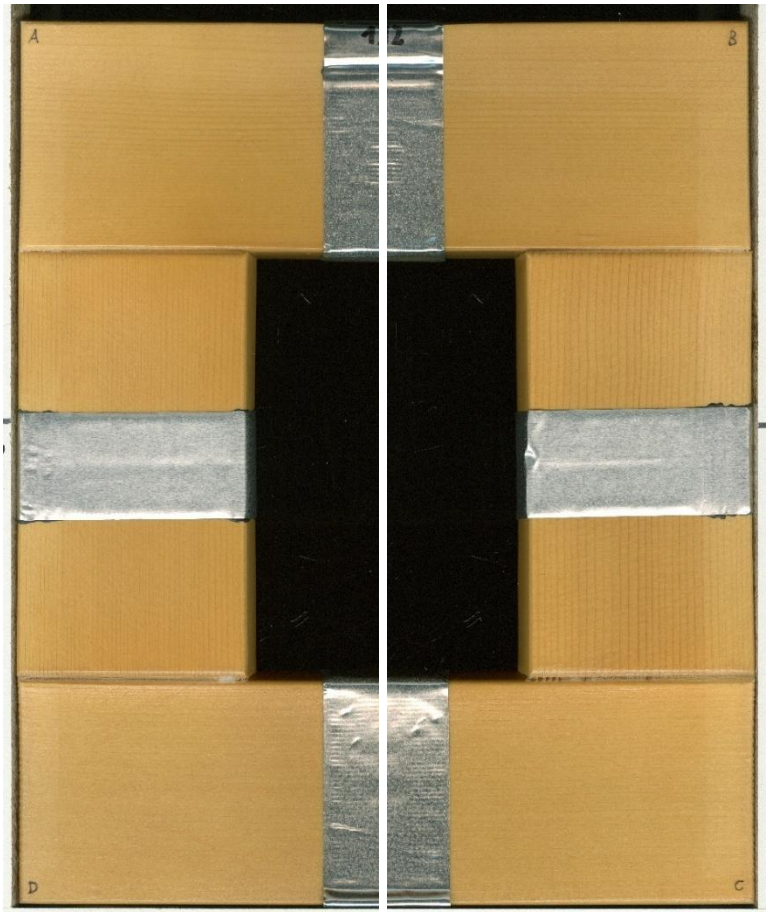


Abbildung 37: Scan der bewitterten Außenfläche - Versatz zwischen Längs- und Querholz bei den Rahmeneckverbindungen am Beispiel von Variante 9 (Fichtenholz, 80 µm, mit V-Fugensiegel, ohne Holzschutz)

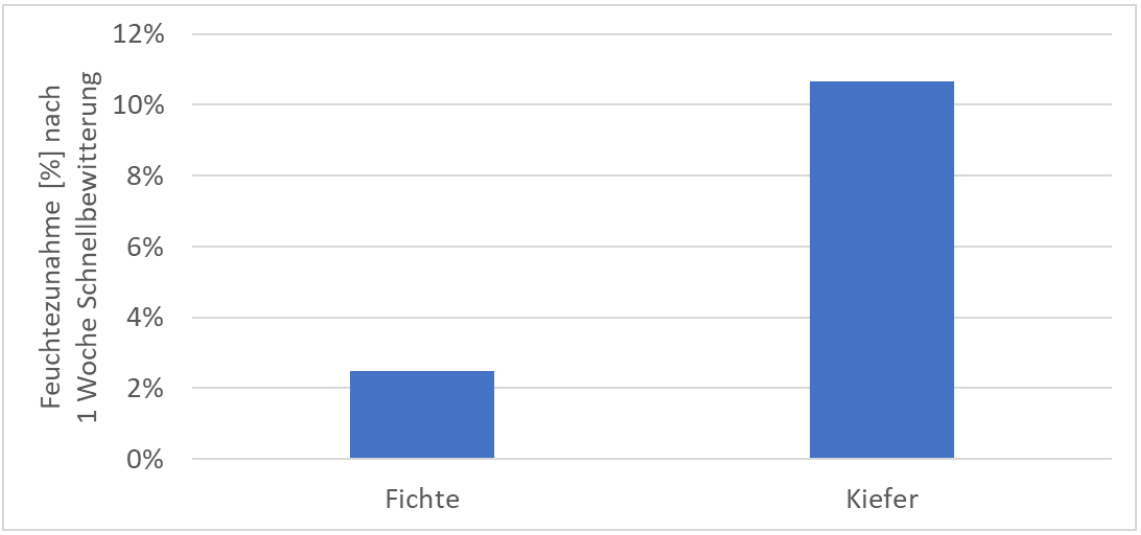


Abbildung 38: Einfluss der Holzart auf die Feuchtezunahme nach 1 Woche Schnellbewitterung anhand der Varianten mit 80 µm Schichtdicke und mit V-Fugensiegel (Mittelwert n=3)

5.1.3 Zusammenfassung

Die Bedingungen in der Schnellbewitterung nach ÖNORM EN 927-6 [25] waren extrem und riefen bei den Fensterecken Verformungen hervor, die in der Praxis so üblicherweise nicht auftreten. Es zeigte jedoch wie sensibel komplexe Bauteile wie Fensterrahmenecken, wo Längs- und Querholz zusammenkommen, auf hohe Beanspruchungen reagieren und wie schwierig es ist über Beschichtungen und V-Fugensiegel den Eintritt von Feuchtigkeit zu verhindern.

Die Rahmenecken aus Kiefernsplintholz zeigten im Zuge der Schnellbewitterung eine deutlich höhere Feuchteaufnahme als die vergleichbaren Fichtenholzrahmen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Wasseraufnahme der unbeschichteten Proben.

6 Grundlagen für den Re:use (Handlungsempfehlungen)

Der Schutz von Holz und Holzprodukten erfordert die Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren, wie bereits unter Pkt. 2 angeführt und in Abbildung 1 grafisch dargestellt: von der Materialwahl und der damit verbundenen gegebenen Dauerhaftigkeit des verwendeten Holzes über die konstruktive Ausführung, die Einbausituation und Qualität der Installation, den am Einbauort vorherrschenden klimatischen und insbesondere mikroklimatischen Gegebenheiten und der dadurch bedingten Beanspruchung mit Auffeuchtung, Trocknung und vorherrschender Strahlungsintensität, bis zu Instandhaltung, Wartung und Durchführung gegebenenfalls notwendiger Reparaturen. Neben dem gewünschten oder geforderten optischen Erscheinungsbild des Holzes oder Holzbauteiles sind die beabsichtigte Gebrauchsdauer, die Möglichkeit eines Austausches eines Holzbauteiles bei einem drohenden oder bereits eingetretenen Ausfall und eine ev. vorhandene Gesundheits- oder gar Lebensgefahr bei einem Versagen eines Bauteils wesentliche, im Entscheidungsprozess zu berücksichtigende, Aspekte.

Insofern handelt es sich bei Holzschutz um ein komplexes, multifaktorielles System. Um eine Entscheidungsfindung für notwendige Holzschutzmaßnahmen zu erleichtern, wurden die einfließenden Parameter mit den zu setzenden Maßnahmen verknüpft und in Normen und Regelwerken festgehalten. Aber sind diese noch gültig und aktuell? Oder sind sie überholt, entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik, sind zu überarbeiten und anzupassen? Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem AP 5 und die entwickelten Konzepte zum Entzug bzw. der Regulierung der Holzfeuchte stellen Grundlagen zur Beurteilung eines eventuell weitergehenden Verzichts auf Holzschutzmittel dar, als laut aktueller Normen und Regelwerken. Essenziell ist die Vermeidung von Feuchteeintritt ins Holz, um den Holzschädlingen ihre wichtigste Lebensvoraussetzung zu nehmen und die Basis zu schaffen,

auf welcher zukünftig holzschutzmittelfreie Hölzer aus verschiedenen Anwendungen, einem stofflichen re:use zugeführt werden können.

Oftmals übersehen wird, dass in den aktuellen Normen und Regelwerken bereits jetzt festgehalten ist, dass vor einem Einsatz von Holzschutzmitteln die Notwendigkeit einer Verwendung genau zu prüfen ist. Sowohl in Österreich als auch in Deutschland ist in den Normenserien ÖNORM B 3802 und DIN 68800 aus Gründen des Schutzes von Mensch und Umwelt die Verpflichtung enthalten, bauliche Maßnahmen sowie den Einsatz natürlich dauerhafter Hölzer vorrangig zu berücksichtigen und chemische Holzschutzmaßnahmen auf das erforderliche Maß zu reduzieren, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Dabei darf ein Verzicht auf chemischen Holzschutz nicht zu einem Risiko für Holzbauteile führen. Neben der Kreislauffähigkeit des eingesetzten Holzes ist auch eine lange Produktlebensdauer ein bedeutender Wert, denn diese trägt zur langfristigen Speicherung von CO_2 im Produkt und zum Hintanhalten einer weiteren Ressourcenentnahme aus dem Wald bei.

Ein sehr starkes Instrument für einen Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen stellt die in Deutschland (DIN 68800-2) und Österreich (ÖNORM B 3802-2) bereits vor vielen Jahren etablierten Gebrauchsklasse 0 dar. Diese umfasst Einbausituationen, in denen die Holzfeuchtigkeit während der gesamten Gebrauchsdauer ständig maximal 20 % und die mittlere Luftfeuchtigkeit maximal 85 % beträgt, wobei letztere nur kurzfristig überschritten werden darf. Unter diesen Bedingungen besteht keine Gefahr eines Befalls durch Pilze. Statisch tragende und/oder aussteifende Holzbauteile, die eigentlich einer höheren Gebrauchsklasse zuzuordnen wären, können bei Anwendung definierter besonderer baulicher Maßnahmen in die Gebrauchsklasse 0 eingestuft werden. Bei konsequenter Anwendung dieser Vorgaben ist bereits jetzt vielfach eine Reduktion der Feuchteaufnahme und damit ein Verzicht auf chemischen Holzschutz möglich. Es gilt Augenmerk zu legen auf:

- Sorgfältige Planung und Ausführung
- Fernhalten von Wasser
- Rasche Wasserableitung
- Vermeidung von Staunässe und Feuchtenestern
- Gewährleistung einer raschen Rücktrocknung
- Feuchteschutz durch Hirnholzschutz; konstruktiv oder durch Beschichtung
- Instandhaltung mittels Inspektion, Wartung und Renovierung; gegebenenfalls unterstützt durch eine entsprechende Sensorik (Leckagensensor, Feuchtesensor)
- Gestaltung von reparierbaren und/oder leicht auswechselbaren Bauteilen.

6.1.1 Statisch tragende Holzbauelemente

Beim statisch tragenden Aussichtsturm am Pyramidenkogel wurden all diese Vorgaben konsequent eingehalten (siehe auch Pkt. 3.4 und 5). Bewusst wurde lt. Architekt K. Klaura die Detailausbildungen aller Holzteile mit Bedacht auf hohen konstruktiven Holzschutz entwickelt (K. Klaura, TB WHT 2013). Die vertikal angeordneten Holzstützen leiten das Wasser rasch und effektiv aus der Konstruktion ab, sodass es offensichtlich zu keiner längeren Feuchteanreicherung kommt. Auch ohne chemischen Holzschutz waren nach 11 Jahren Standdauer keine Schäden durch holzzerstörende Organismen festzustellen. Die Vergrauung des Holzes und die damit immer einhergehende Verblauung, wurden bewusst eingeplant. Diese Verfärbungen haben auf die Tragfähigkeit keine negativen Auswirkungen. Es handelt sich lediglich um eine optische Veränderung, die langfristig bei allen unbeschichteten und ungeschützten Holzoberflächen durch die direkte, natürliche Bewitterung entsteht.

Demgegenüber stehen Objekte wie die begutachtete Wohnhausanlage in Wien 1220 (Pkt. 3.5) oder die bewusst mit konstruktiven Schwachstellen hergestellten Balkone (Pkt. 3.3), Die Missachtung von Regeln des konstruktiven Holzschutzes wie offene Hirnholzenden, große Kontaktflächen zwischen den Bauteilen, fehlende oder unzureichende Möglichkeit der Abtrocknung etc. führten zum Teil zu erheblichen Fäulnisschäden. Beschichtungen reduzierten zwar die Feuchteaufnahme und damit entstehende Quell- und Schwindbewegungen des Holzes und trugen so zu einer längeren Haltbarkeit des Holzes bei. Unterbrechungen des Beschichtungsfilms und von dort ausgehende Feuchteunterwanderungen und Verfärbungen beeinträchtigten aber nicht nur das Erscheinungsbild, sondern führten zu einer höheren Feuchteaufnahme und im ungünstigen Fall zu Fäulnis. Durch regelmäßige Inspektion und Durchführung notwendiger Wartungsarbeiten, ließen sich derartige Folgeschäden vermeiden und Beschichtungen in einem guten Zustand erhalten

Für statisch tragende Holzbauelemente lässt sich daraus ableiten, dass eine Ausführung ohne chemischen Holzschutz im bewitterten Außenbereich ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt durchaus möglich ist. Grundbedingung ist eine strikte Beachtung und Umsetzung der konstruktiven Regeln des Holzschutzes. Auf eine regelmäßige Inspektion, auch von aufgebrachten Beschichtungen, und Durchführung notwendiger Wartungs- und Instandhaltungsschritte ist dabei zu achten, um eventuelle Schäden frühzeitig zu erkennen und erforderliche Maßnahmen setzen zu können.

6.1.2 Maßhaltige Bauteile

Anders stellt sich die Situation bei maßhalten Bauteilen wie Holzfenstern dar. Die einfache Formel „ohne Auffeuchtung kein Pilzproblem und keine Notwendigkeit für chemischen Holzschutz“ ist auch bei Holzfenstern gültig. Entscheidend ist, ob durch die Beschichtung, in Verbindung mit einer guten Konstruktion und Abdichtung kritischer Stellen wie z.B. der

Brüstungsfuge, in der jeweiligen Einbausituation ein langfristig ausreichender Feuchteschutz gegeben ist. Dann kann auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden. Ist das der Fall?

Das Spektrum der Antworten auf diese Frage in den betroffenen Branchen ist breit und reicht von „ja, ein Verzicht ist möglich und auch notwendig“, über „ja, es geht, aber es ist eine Herausforderung“ bis zu „nein, chemischer Holzschutz ist erforderlich“. Befragungen der Projektpartner im Projekt TimberLoop ergaben, dass seit Jahren kaum noch Feuchte- und Fäulnisschäden durch holzzerstörende Pilze im Holzfenster auftreten und wenn, dann sind diese durch konstruktive oder bauliche Fehler verursacht. Vorhandene Normen- und Regelwerke setzen grundsätzlich chemische Holzschutzmaßnahmen, insbesondere einen Schutz vor Bläuepilzbewuchs voraus, ermöglichen aber unter bestimmten Bedingungen auch die Umsetzung von holzschutzmittelfreien Ausführungen.

In Österreich ist lt. ÖNORM B 3803 chemischer Holzschutz gegen holzzerstörende Pilze bei Holzfenstern nicht erforderlich. Empfohlen wird er lediglich bei Verwendung von Kiefernsplintholz. Bei Verwendung von Kernhölzern der natürlichen Dauerhaftigkeit 1 und 2 darf genauso auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden, wie bei Beschichtungen auf geschützten Konstruktionen, wie z.B. einem Holz-Alu-Fenster. In allen anderen Fällen wird ein vorbeugender Holzschutz gegen holzverfärbend Pilze gefordert. Soll auch in diesen Fällen auf eine Behandlung mit Holzschutzmitteln verzichtet werden, so wird empfohlen, dies vertraglich zu vereinbaren.

In Deutschland definiert DIN 68800 die Gefahr von Bauschäden nur als mögliche Beeinträchtigung der Standsicherheit von Bauteilen in Folge von Befall durch holzzerstörende Organismen. Das reine Vorkommen von Schadorganismen auf dem Holz wird nicht als Beeinträchtigung der bestimmungsgemäßen Nutzung angesehen. Demgegenüber ist lt. VFF Merkblatt HO.11 [26] bei maßhaltigen Außenbauteilen aus Holz bereits das reine Vorkommen von holzzerstörenden und -verfärbenden Organismen als Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit anzusehen, selbst wenn die Funktionsfähigkeit noch gegeben ist. Zu berücksichtigen ist neben der Gebrauchsklasse die Beanspruchung (normal oder stark) und das Schutzniveau (normal oder erhöht).

Die Ausführung eines Holzfensters ohne chemischen Holzschutz ist in Deutschland unter bestimmten Voraussetzungen auch heute bereits möglich, z.B. das „Null-Holzschutzmittel-Fenster“ laut VFF Merkblatt HO.11 [26]. Dieser Verzicht ist einerseits vertraglich zu vereinbaren, andererseits erfordert er den Einsatz von nicht bläueempfindlichen Holzarten mit ausreichender Dauerhaftigkeit, unter Berücksichtigung des Schutzniveaus und der Beanspruchung. Bei Einbau von Fenstern in der Gebrauchsklasse 3.1 ist darüber hinaus eine dauerhaft intakte und regelmäßig gewartete Beschichtung gefordert.

Die im AP 5 durchgeführten Arbeiten und ermittelten Ergebnisse fügen sich gut in dieses Bild ein, unterstützen ein „ja, ABER“, bewusst in Großbuchstaben geschrieben, denn auf dieses ABER, auf die Bedingungen kommt es an. Durchgeführte Laborversuche mit dem Modellbeschichtungssystem ergaben, dass durch das wirkstofffreie System kein

ausreichender Schutz gegen das Durchwachsen von Hyphen holzzerstörender Pilze gegeben war (siehe Pkt. 4.1). Dabei zeigte sich ein deutlicher Effekt der Schichtstärke: je höher die Schichtstärke, desto geringer waren die ermittelten Masseverluste. Dickere Schichten verzögern offenbar das Pilzwachstum durch die Beschichtung und so können auch wirkstofffreie Beschichtungen einen zeitlich begrenzten Schutz bieten. Auch wenn die Ergebnisse nicht eins zu eins auf alle Beschichtungssysteme übertragbar sind, lassen sie doch eine Aussage über die Leistungsfähigkeit holzzerstörender Pilze im Zusammenhang mit Beschichtungssystemen zu. Zu berücksichtigen ist weiters, dass die Ergebnisse unter dauerhaft feuchten Versuchsbedingungen gewonnen wurden, Bedingungen, die in den realen Einbausituationen von Holzfenstern (GK 2 und GK 3.1) normgemäß nicht vorkommen dürfen und über längere Zeiträume vorherrschen müssen.

Gegenüber holzverfärbenden Pilzen ist der benötigte Zeitraum mit Befeuchtung deutlich kürzer als gegenüber holzzerstörenden Pilzen. Dieser Sachverhalt ist in der Praxis zu berücksichtigen und spiegelt sich auch in ÖNORM B 3803 und VFF Merkblatt HO.11 [26] wider, indem, mit wenigen Ausnahmen, ein vorbeugender chemischer Holzschutz gegen holzverfärbende Pilze verlangt wird. Die durchgeführten Laborversuche mit dem Modellbeschichtungssystem zeigten jedoch eine recht gute Schutzwirkung gegen das Durchwachsen der Beschichtung durch Bläuepilze (siehe Pkt. 4.2). Deutlich war auch hier ein Effekt der Schichtstärke erkennbar: wurden 40 µm Schichtstärke noch recht rasch von den Pilzen durchwachsen und Verblauungen verursacht, so waren bei 80 µm Schichtstärke Luftblasen, Verletzungen wie kleine Beschichtungsrisse oder Stellen mit verminderter Schichtstärke als Eintrittspforten für Bläuepilze notwendig. Bei 120 µm Schichtstärke waren die Oberflächen bläuefrei. Je länger der „Befallsdruck“ ist, d.h., je länger eine Feuchtebelastung besteht, desto mehr Verblauungen treten auf, desto größer ist daher das Risiko eines Bläuebewuchses.

Eine holzschutzmittelfreie Beschichtung, in Verbindung mit einer guten Konstruktion und Abdichtung kritischer Stellen wie der Brüstungsfuge, **kann** funktionieren. Dazu muss aber gewährleistet sein, dass die Feuchtebelastung tatsächlich immer nur kurzfristig ist und dass die Beschichtung dauerhaft intakt und gewartet ist. Kritische Einbausituationen, bei denen eine Gefährdung längerfristiger Durchfeuchtung besteht, werden mit einer wirkstofffreien Beschichtung nicht bewältigbar sein. Pilze sind sehr potente Lebewesen, die viele Materialien durchwachsen können, so auch Beschichtungen. Das haben die Ergebnisse der im Rahmen des Projektes durchgeführten Versuche aufgezeigt.

Eine allgemeine Empfehlung für einen Verzicht auf chemischen Holzschutz bei maßhaltigen Bauteilen erscheint aufgrund der Datenlage nicht tragbar. Auch wenn es Einsatzbereiche gibt, wo auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden kann, so gibt es auch Bedingungen, wo das Risiko für Schäden bei Verzicht auf chemischen Holzschutz als zu hoch einzuschätzen ist. Dem sollte und ist Rechnung zu tragen. Wichtig wäre es, eine umfassende Datenlage über die realen Feuchtelasten bei den unterschiedlichen Einbausituationen zu haben und diese mit dem Risiko eines Pilzbefalls korrelieren zu können. Vorhandene (Labor-) Versuchsmethoden

spiegeln die realen Verhältnisse und Risiken oft nicht wider. Sie beantworten einzelne Fragestellungen sehr gut, die Komplexität multifaktorieller Systeme erfordert jedoch darüberhinausgehende Lösungsansätze. Generelle Lösungskonzepte sind weiterentwickelt, abgestimmt und angepasst an die jeweiligen Endprodukte, einer praktischen Belastungsprobe zu unterziehen.

7 References

[1] ÖWAV - Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Leitfaden zur Altholzsortierung, Wien, 2018.

[2] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BGBl. II Nr. 160/2012 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV): Recyclingholzverordnung, 2012.

[3] Bundesministerium für Land-Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BGBl. II Nr. 495/2020 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (Recyclingholzverordnung – RHV): Recyclingholzverordnung - RHV, 2023.

[4] 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 Biozidprodukten.

[5] Austrian Standards Institute, ÖNORM EN 350: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Prüfung und Klassifikation der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff 79.040, 2016.

[6] Austrian Standards International, ÖNORM EN 335: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten 71.100.50; 79.040, 2013.

[7] Austrian Standards International, ÖNORM EN 460: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Leitfaden zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit, Austrian Standards plus GmbH 79.040, 2023.

[8] Austrian Standards International, ÖNORM B 3802-1 Holzschutz im Bauwesen - Teil 1: Allgemeines, Wien, Österreich 71.100.50; 91.120, 2015.

[9] Austrian Standards International, ÖNORM B 3802-2 Holzschutz im Bauwesen - Teil 2: Baulicher Schutz des Holzes, Wien, Österreich 71.100.50; 91.120, 2015.

[10] Austrian Standards International, ÖNORM B 3802-3: Holzschutz im Bauwesen - Teil 3: Chemischer Schutz des Holzes 71.100.50; 91.120, 2015.

[11] Austrian Standards Institute, ÖNORM B 3803: Holzschutz im Hochbau - Beschichtungen auf maßhaltigen Außenbauteilen aus Holz; Mindestanforderungen und Prüfungen, 2016-06-01 71.100.50; 91.060.50.

[12] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 68800-1: Holzschutz - Teil 1: Allgemeines, Beut Verlag GmbH, Berlin 71.100.50, 2019.

[13] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 68800-3: Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln, Beut Verlag GmbH, Berlin 71.100.50, 2020.

[14] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 68800-2: Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beut Verlag GmbH, Berlin 71.100.50; 91.080.20, 2022.
[15] D. Lukowsky, DIN 68800 (2011): Konsequenzen für den Fensterbau, in: H. Militz (Ed.), Trends und Chancen, 1st ed., Cuvillier, Göttingen, 2012, pp. 185–188.
[16] D. Lukowsky, O. Moarcas, Optimierung des chemischen Holzschutzes im Fensterbau, in: Tagungsband der 25. Holzschutztagung DGfH, 2007, 93-103.
[17] Austrian Standards International, EN 927-1: Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 1: Einteilung und Auswahl, 2013.
[18] M. Klaura, Grenzen überschreiten, in: Wiener Holzschutztage 2013: 28.-29. November 2013 in Wien, Holzforschung Austria, Wien, November 2013, pp. 162–165.
[19] Austrian Standards International, Planung und Ausführung von Maler- und Beschichtungsarbeiten - Teil 1: Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen, Metall, Kunststoff, Mauerwerk, Putz, Beton und Leichtbauplatten 91.010.30; 91.180, 2019.
[20] Austrian Standards International, ÖNORM EN 839: Holzschutzmittel - Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen Holz zerstörende Basidiomyceten - Anwendung mit Oberflächenverfahren 71.100.50, 2014.
[21] Austrian Standards International, ÖNORM EN 438-2: Dekorative Hochdruck-Schichtpressstoffplatten (HPL) - Platten auf Basis härtbarer Harze (Schichtpressstoffe) - Teil 2: Bestimmung der Eigenschaften 83.140.20, 2019.
[22] Austrian Standards International, ÖNORM EN 152: Holzschutzmittel - Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit einer Schutzbehandlung von verarbeitetem Holz gegen Bläuepilze - Laboratoriumsverfahren 71.100.50, 2012.
[23] J. Van Acker, M. Stevens, C. Brauwers, V. Rijckaert, and E MOL, Blue stain resistance of exterior wood coatings as a function of their typology, in: The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP, 98-20145, 1998, 1 lp.
[24] Austrian Standards International, EN 927-5: Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 5: Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit, 2006.
[25] Austrian Standards International, EN 927-6: Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 6: Künstliche Bewitterung von Holzbeschichtungen mit fluoreszierenden UV-Lampen und Wasser 87.040, 2018.
[26] Verband Fenster + Fassade (VFF), VFF Merkblatt HO.11: Holzschutz bei Holz- und Holz Metall-Fenstern, -Haustüren, -Fassaden und -Wintergärten, Frankfurt, 2020.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Leitfaden zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Holz und Holzprodukten in Anlehnung an ÖNORM EN 460 [7] 10

Abbildung 2: Ansicht des Bürogebäudes mit den drei auf der Südwestfassade untersuchten Fenstern (rot eingerahmt) 13

Abbildung 3: Grundriss des Bürogebäudes mit den in Rot gekennzeichneten untersuchten Fenstern 14

Abbildung 4: Ansicht der mit Aluschale verkleideten Holzfenster (links: Fensterstock mit geöffnetem Fenster; rechts: Fensterflügel im geöffneten Zustand) .. 14

Abbildung 5: Beginnende Fäulnisschäden am unteren Stockprofil und im unteren Bereich des vertikalen Stockprofils (Fenster F auf der Nordost Fassade) 15

Abbildung 6: Feuchteunterwanderung und starke Bläue am unteren Flügelprofil von der Unterkante ausgehend (Fenster F auf der Nordost Fassade) 16

Abbildung 7: Starke Abwitterungserscheinungen der Beschichtung wie Risse und Abblätterungen im unteren Bereich des Fensterflügels (Fenster C auf der Südwest Fassade) 17

Abbildung 8: Extreme Abwitterung der Beschichtung am unteren Fensterstockprofil (Fenster H auf der Nordost Fassade) 17

Abbildung 9: Südansicht einer Balkonkonstruktion; linke Seite: Erstbeschichtung; rechte Seite: Wartungsanstrich nach 18 Monaten Bewitterung appliziert (links); Konstruktion der Balkonaufbauten (vertikaler Schnitt) (rechts) .. 19

Abbildung 10: Exemplarische Darstellung von Fäulnisschäden nach 65 Monaten Freilandbewitterung, verursacht durch bewusste Missachtung des konstruktiven Holzschutzes – Nahe Hirnholzenden von Baluster und Handlauf und im Bereich von Holzmerkmalausbesserungen 21

Abbildung 11: Aussichtsturms am Pyramidenkogel am 09.04.2024 ca. 10 ½ Jahre nach der Errichtung 22

Abbildung 12: Untersuchung des Aussichtsturms am Pyramidenkogel am 09.04.2024 durch Michael Truskaller (Photo) und (vrnl) Florian Tscherne und Peter Schober (Holzforschung Austria), Markus Lackner (Tragwerksplaner) und Arch. Markus Klaura (Architekt und Generalplaner) 23

Abbildung 13: Hinterlüfteter Kontenpunkt – Reduktion der Kontaktflächen zwischen Metall und Holz auf ein Minimum 24

Abbildung 14: Ausschnitt einer Schautafel am Pyramidenkogel - Detailplanung des Fachwerksknoten, Verkleben von Stahlteilen (H-Träger) in den Träger und Darstellung der hinterlüfteten Konstruktion 25

Abbildung 15: Längsstoß mit tendenziell größerer Rissbildung am unteren Ende des Oberteils; Detailausführung der Tropfnase (© by Lackner und Rami – Tragwerksplanung) 27

Abbildung 16: Großer tieferer Holzlängsriss auf der Fläche des Leimholzpfahls – mögliche Feuchtefalle mit erhöhtem Risiko für Fäulnisbildung – Aufnahme als Monitoring Stelle 28

Abbildung 17: Detailaufnahmen des oberen Endes einer Klebestelle des H-Trägers in den Leimholzpfahl 29

Abbildung 18: Plan-Ansicht Reihenhaus mit Holzfassaden, Wintergarten, Holzsäule und unterschiedlichen Fenstern 31

Abbildung 19: Fäulnis an der Fassade (links) und abblätternde Beschichtung im Spritzwasserbereich (Regenrinne) über dem Vordach (rechts) 32

Abbildung 20: Fäulnis oberhalb der Tür des Wintergartens (links) und Braunfäule im Fußbereich der Holzsäule (rechts) 33

Abbildung 21: Starke Abwitterungserscheinungen (links) und Fäulnis (rechts) 35

Abbildung 22: Verletzung der Probenoberfläche mittels Gitterschnitt (links) und „Hagelschlag“ (rechts) 38

Abbildung 23: Beispiel eines mit 2 Proben (1 x beschichtet, 1x unbehandelte Kontrolle) beschickten Versuchsgefäßes 39

Abbildung 24: Mittlere Masseverluste der wirkstofffrei beschichteten Kiefernsplinthölzer, Varianten ohne (trocken) und mit (nass) Befeuchtung sowie mit einer Verletzung (V), Schichtdicken von 40 µm, 80 µm und 120 µm mit den Pilzen *Coniophora puteana* (Cp), *Gloeophyllum trabeum* (Gt) und *Rhodonia placenta* (Rp); rote Linie bei 3,0 % Masseverlust 40

Abbildung 25: Mittlere Verblauungsgrade der wirkstofffrei (WSF) beschichteten Kernhölzer ohne und mit Verletzung (V), Schichtdicke von 80 µm (Ki = Kiefer, Lä = Lärche, Do = Douglasie, Ei = Eiche, Fi = Fichte) 44

Abbildung 26: Lärchen-Kernholz mit Bewuchs durch Bläuepilze (Pfeile), direkt unter der Beschichtung, auf der Holzoberfläche 44

Abbildung 27: Kiefern-Kernholz mit oberflächlichem Bewuchs durch Bläuepilze (Pfeile) auf 2 von 4 Proben 45

Abbildung 28: Mittlere Verblauungsgrade der beschichteten Kiefernsplinthölzer und von Fichte (WSF = wirkstofffrei; FS = Filmschutz), ohne und mit Verletzung (V) bzw. mit anschließender Wartung (W), Schichtdicken von 40 µm, 80 µm und 120 µm 46

Abbildung 29: Luftblasen (links) und verminderte Schichtdicke (rechts) als Eintrittspforten für holzverfärbende Pilze 46

Abbildung 30: Mittlere Verblauungsgrade der wirkstofffrei beschichteten Kiefernsplinthölzer im Zeitverlauf, ohne Verletzung, Schichtdicke jeweils 80 µm 47

Abbildung 31: Anstieg der über den Probenquerschnitt gemittelten Holzfeuchte im Zuge der Wasserlagerung von Kernholz unterschiedlicher Holzarten, Kiefernsplintholz, Fichtenholz und Fichte Altholz (aus dem 17. Jhd.) ... 49

Abbildung 32: Verlauf der über den Probenquerschnitt gemittelten Holzfeuchte im Zuge der Wasserlagerung und Rücktrocknung von Kernholz unterschiedlicher Holzarten, Kiefernsplintholz, Fichtenholz und Fichte Altholz (aus dem 17. Jhd.) 50

Abbildung 33: Fensterstockprofil für die Untersuchungen zur Befallsvermeidung (ohne Schaumnut) 53

Abbildung 34: Spannvorrichtung für den Fensterstockrahmen in den Bewitterungsrahmen (links); im QUV-Schnellbewitterungsgerät exponierte Flächen mit Alu kaschiertem Butylband zum Schutz der Verbindungsstöße der Rahmen (rechts) 53

Abbildung 35: Verformung der Rahmeneckverbindung und Delaminierung der Schlitz-Zapfen-Verbindung am Beispiel von Variante 2 (Kiefer, 40 µm, mit V-Fugensiegel, ohne Holzschutz) 54

Abbildung 36: Scan der bewitterten Außenfläche - Versatz zwischen Längs- und Querholz bei den Rahmeneckverbindungen am Beispiel von Variante 9 (Kiefer, 80 µm, mit V-Fugensiegel, ohne Holzschutz) 55

Abbildung 37: Scan der bewitterten Außenfläche - Versatz zwischen Längs- und Querholz bei den Rahmeneckverbindungen am Beispiel von Variante 9 (Fichtenholz, 80 µm, mit V-Fugensiegel, ohne Holzschutz) 56

Abbildung 38: Einfluss der Holzart auf die Feuchtezunahme nach 1 Woche Schnellbewitterung anhand der Varianten mit 80 µm Schichtdicke und mit V-Fugensiegel (Mittelwert n=3) 56

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennzeichnung der Beschichtungssysteme der Balkonelemente nach Fäulnisschäden, vorbeugenden Schutz gegen holzzerstörende Pilze (P) und sorgfältig ausgeführtem Hirnholzschutz 21

Tabelle 2: Variantenplan für die Untersuchung mit holzzerstörenden Pilzen 38

Tabelle 3: Variantenplan für die Untersuchung mit holzverfärbenden Pilzen (WSF = wirkstofffrei) 41

Tabelle 4: Bewertungsskala für die bewitterte Probenoberfläche 43

Tabelle 5: Varianten Versuchsplan Befallsvermeidung.....52