

# TimberLoop

## AP 4: Kleinvolumige Holzbauprodukte aus Altholz





## **Kleinvolumige Holzbauprodukte aus Altholz**

### **Teilbericht**

Zu TimberLoop

Projektnr: 900315

HFA-Nr.: F52500

Gefördert durch die FFG

### **Autor/en/in/nen**

DI Andreas Illy

### **Beteiligte Firmen**

Ing. Georg Schuh

Mareiner Altholz GmbH

Rubner Holding AG

Scheucher Holzindustrie GmbH

tilo GmbH

WIEHAG Timber Construction GmbH

 **Waldfonds  
Republik Österreich**

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



**FFG**  
Forschung wirkt.

Wien, Mai 2025



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung / Aufgabenstellung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Wiederverwertung von Holzfußböden .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Mit dem Estrich verklebtes Parkett .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Lose verlegtes Parkett .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>Altholz-Oberflächen .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Mikroskopische Untersuchungen .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Erscheinungsbild und Farbe .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Kontaktwinkel .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4</b>	<b>pH-Wert .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Klebung .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Ausgangsmaterial .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Versuchsklebungen .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Beurteilung der Klebung .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Rohstoffqualität .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Mit dem Estrich verklebtes Parkett .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Lose verlegtes Parkett .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Altholz-Oberflächen .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Mikroskopische Untersuchungen .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Erscheinungsbild und Farbe .....</b>	<b>18</b>

<b>3.2.3</b>	<b>Kontaktwinkel .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.4</b>	<b>pH-Wert .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Klebung .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Ausgangsmaterial.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Versuchsklebungen.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Beurteilung der Klebung mit EPI-, PUR- und ULEF-Klebstoff .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Beurteilung der Klebung mit PVAc-Dispersionsklebstoff .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Verwendbarkeit von abgebauten Holzfußböden .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Altholz-Oberflächen.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Verklebung von altem Holz mit Frischholz .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Anforderungen für den Einsatz von altem Holz in neuen Produkten .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>44</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Projekt TimberLoop wurden im Rahmen von AP4 gebrauchte Holzbauprodukte hinsichtlich ihres Potenzials für eine Kreislaufführung untersucht. Die ausgebauten Holzbauprodukte beinhalteten Holzfenster, Brettschichtholz und Kanthölzer. Es wurde die Verwertung des Materials im konkreten Fall in Mehrschichtparkett angestrebt.

Als erste Untersuchung wurde die Möglichkeit der Wiederverwendung von Holzfußböden untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass bei loser (schwimmender Verlegung) von Fußböden eine Wiederverwendung umgesetzt werden kann. Mit dem Untergrund verklebter Belag ermöglichte hingegen nur einen zerstörenden Ausbau und das Material konnte stofflich nicht mehr eingesetzt werden.

Die Untersuchung von Oberflächeneigenschaften wurde an einem Material aus dem 17. Jahrhundert durchgeführt. Es wurden vorrangig die Unterscheidungsmerkmale von Altholz zu frischem Holz gegenübergestellt. Dazu wurden mikroskopische Untersuchungen sowie Untersuchungen zum Erscheinungsbild, des Kontaktwinkels und des pH-Wertes durchgeführt. Altholz wird seit jeher im Innenausbau aufgrund der Oberflächenparameter, wie Farbe und Struktur eingesetzt. Für die Klebung relevante Parameter wie Kontaktwinkel und pH-Wert von Fichte-Altholz zeigte, dass die Ergebnisse dem von frischem Holz entsprachen.

Durch die Versuche, Holzfraktionen von alten Fenstern, gebrauchtem Kantholz und Brettschichtholz zu Mittellagenstäben für Mehrschichtparkett einzusetzen, konnte gezeigt werden, dass in Abhängigkeit der Holzsortierung des Ausgangsmaterials und der vorhandenen Holzfeuchte, soweit keine Schädigung in der Nutzungsphase entstanden ist, bei Einbringen von Halbfabrikaten der Einsatz von gebrauchtem Holz in ein neues Produkt möglich ist.

Um eine systematische Verarbeitung von bereits verwendetem Holz in Produktionsbetrieben mit automatisierten Prozessen zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit einer Aufbereitung. Chemische Kontaminationen müssen entweder ausgeschlossen oder betroffene Oberflächen vor der Weiterverarbeitung entfernt werden, um Schadstoff-Freiheit sicherzustellen. In diesem Vorfeld ist neben dem Zuschnitt, der Störstoffentfernung und der Qualitätssortierung vor allem die geforderte Holzfeuchte einzustellen.

## SUMMARY

In the TimberLoop project, within the framework of AP4, used wood construction products were examined regarding their potential for recycling. The dismantled wood construction products included wooden windows, laminated timber and lumber. The utilisation of the material in the specific case in multi-layer parquet was sought.

As a first investigation, the possibility of reusing wooden floors was examined. It was shown that with loose (floating) floors, reuse can be implemented. However, with the substrate being glued to the covering, only a destructive dismantling was possible, and the material could no longer be used.

The investigation of surface properties was carried out on a material from the 17th century. The main aim was to compare the distinguishing features of old wood to those of fresh wood. Microscopic examinations, as well as examinations on the appearance, contact angle and pH value were carried out. Old wood has always been used in interior design due to its surface parameters, such as colour and structure. The parameters relevant to bonding, such as contact angle and pH value of old spruce wood, showed that the results corresponded to those of fresh wood.

The experiments to use wood from old windows, used lumber and laminated lumber as middle layers for multi-layer parquet showed that, depending on the wood sorting of the raw material and the existing wood moisture content, and as long as no damage has occurred in the utilisation phase, the use of recovered wood in a new product is possible when semi-finished products are used.

In order to enable the systematic processing of already used wood in production plants with automated processes, specific preparation is necessary. Chemical contaminants must either be excluded or affected surfaces must be removed before further processing to ensure the absence of pollutants. In this preliminary stage, in addition to cutting, removing impurities and sorting by quality, it is necessary to adjust the required wood moisture content.

# **1 Einleitung / Aufgabenstellung**

Für den Kreislauf von Holzmaterialien gibt es keine systematischen Strategien. Holzmaterialien werden nicht immer nach der Erstnutzung einer Wiederverwendung bzw. einer hochwertigen Verwertung zugeführt. Die Eignung von Abbaumaterialien für den Zweck der Verwertung kann aufgrund von unbekanntem Parametern nur bedingt beurteilt werden. Das für eine weitere Nutzung ausschließende Kriterium ist die Anwesenheit von Stör- oder Schadstoffen im Altholz. Aufgrund des Schwerpunktes der Erkennung von Kontaminationen an tragenden und an nichttragenden Bauteilen wird diese Thematik in einem separaten Teil des Berichtes bearbeitet.

In dem Arbeitspaket Kleinvolumige Holzbauprodukte aus Altholz wurde am Beispiel von Holzfußböden und Parkett Grundlagen zur Verwertung von gebrauchtem Holz in neuen Produkten entwickelt. Damit soll ein Recycling von zur Verfügung stehenden Holzmaterialien in diesen Produkten ermöglicht werden. Es wurden einerseits die Möglichkeit einer Wiederverwendung von Holzfußböden betrachtet und andererseits von zur Verfügung stehenden Materialien für die Herstellung von Mehrschichtparkett analysiert. Mit der Einbindung von Produktionsbetrieben wurden Verwertungswege von Materialien analysiert und Versuchsprodukte hergestellt.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Wiederverwertung von Holzfußböden**

#### **2.1.1 Mit dem Estrich verklebtes Parkett**

Es wurden im Zuge des Projektes Abbrucharbeiten von Holzfußböden begleitet. Im Bestand wurde der Zustand des Parketts festgehalten und das abgebaute Material analysiert.

Im Jänner 2023 wurde ein zweilagiges Mehrschichtparkett mit europäischer Kirschbaumholz-Decklage (2-Stab) und lackierter Oberfläche, der vor ca. 20 Jahren verlegt wurde, entfernt. Der Fußboden war in einem Wohnhaus einer Familie mit 2 Kindern im Alter von 12 und 14 Jahren. Das Parkett war in einem Wohn-Esszimmer verlegt. Die Parkettdecken waren mit dem Estrich verklebt. Der Raum hatte keine Fußbodenheizung. Die Begründung für einen Abbruch lag in den Abnutzungserscheinungen und in der außer Mode geratenen Oberfläche (Abbildung 1). Der Boden wurde durch einen lackierten Mehrschicht-Fertigparkett mit Eichendecklage, der wieder mit dem Estrich verklebt wurde, ersetzt.

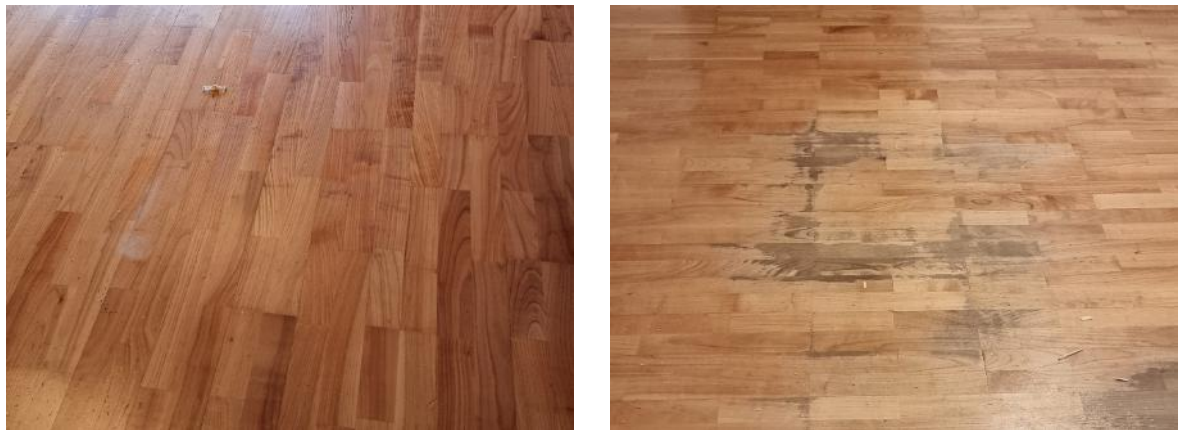


Abbildung 1: Oberfläche des auf Estrich verklebten Parketts bei Entnahme (linkes Bild: im Wohnraum, rechtes Bild: unter dem Esstisch)

### 2.1.2 Lose verlegtes Parkett

Ebenfalls im Jänner 2023 wurde ein dreilagiges Mehrschichtparkett mit Eichenholz-Decklage (3-Stab), das vor ca. 40 Jahren verlegt wurde, entfernt. Die Oberfläche wurde bereits einmal vor Ort überarbeitet und hatte eine geölte Oberfläche. Der Parkettboden war in einem Wohnraum einer Dienstwohnung verlegt. Die Parkettdielen waren lose (schwimmend) auf einer flexiblen Unterlage mit einer Nut-und-Feder-Verbindung verlegt. Der Raum hatte keine Fußbodenheizung (Abbildung 2).



Abbildung 2: Oberfläche des losen verlegten Parketts bei Entnahme

## 2.2 Altholz-Oberflächen

Von einem alten Getreidespeicher im Waldviertel (nördliches Niederösterreich) wurde der Konstruktion Fichtenholz aus dem 17. Jahrhundert entnommen und Proben für Untersuchungen hergestellt (Abbildung 3). Die Untersuchungen wurden im Vergleich zu herkömmlichem Schnittholz mit gleichen mechanisch bearbeiteten Flächen durchgeführt. Dabei wurde zwischen Früh- und Spätholz sowie zwischen den Schnittrichtungen variiert.



Abbildung 3: Querschnitt eines Konstruktionsholzes aus dem 17. Jahrhundert mit Kennzeichnung des Probenzuschnittes

### 2.2.1 Mikroskopische Untersuchungen

Von dem Altholz wurden für mikroskopische Untersuchungen Proben entnommen und präpariert. Die Proben wurden unter einem Lichtmikroskop (Olympus CX40) mit Auflicht-Ausrüstung betrachtet und mit einer aufgesetzten Kamera fotografiert. Mit einem Rasterelektronenmikroskop (Prisma E, Thermo Scientific) wurden an unbespitterten Proben im Low-Vacuum Modus Aufnahmen im Quer- und Längsschnitt durchgeführt. Bei den Querschnitten wurde vor allem der oberflächennahe Bereich bis ca. 2 mm Tiefe untersucht.

### 2.2.2 Erscheinungsbild und Farbe

Das Altholz wurde in tangentialer und radialer Schnittrichtung visuell verglichen. Ebenso wurden Farbmessungen durchgeführt. Die Farbwerte wurden mittels eines Spektralfotometers (Minolta CM-2600d) mit der Normlichtart D65 und dem Normalbeobachter 10° ermittelt. Zur Darstellung der Farbe wurde die Messskala nach CIEL\*a\*b\* angewendet. Je Probenoberfläche wurden sechs Messungen durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet. Als Ergebnis resultierten die Mittelwerte als Mischfarbe von Früh- und Spätholz und wurden zur Ermittlung der Farbwertedifferenz und der Gesamtfarbdifferenz  $\Delta E^*$  zwischen Altholz und frischem Holz herangezogen.

### 2.2.3 Kontaktwinkel

An aufgetrennten Altholz-Flächen wurden Untersuchungen im Vergleich zu herkömmlichem Schnittholz mit identischer mechanischen Bearbeitung Messungen mit einem Kontaktwinkelmessgerät (Digidrop Model DI, GBX) mit entionisiertem Wasser durchgeführt. Die Proben wurden dabei quer zur Faserrichtung betrachtet. Dabei wurde zwischen Früh- und Spätholz, sowie zwischen den Schnittrichtungen variiert.

## 2.2.4 pH-Wert

Der pH-Wert wurde mittels einer Suspension-Messung ermittelt. Das Probenmaterial wurde zerkleinert, auf 5 g eingewogen und mit 50 ml Wasser aufgefüllt. Nach 24 Stunden wird nach Filtrierung und Auffüllung auf 100 ml das Substrat mit einer pH-Elektrode ermittelt.

## 2.3 Klebung

Zur Ermittlung der Klebeeigenschaften von Altholz wurden aus Fenstern in den Holzarten Fichte, Lärche und Meranti, sowie aus Brettschichtholz und Kantholz in Fichte Mittellagenstäbe (Abbildung 4) hergestellt. Zusätzlich wurde aus einem Bauwerk entnommenes Brettschichtholz durch Auftrennen über die Höhe Mittellagen für Mehrschicht-Parkettdielen hergestellt.

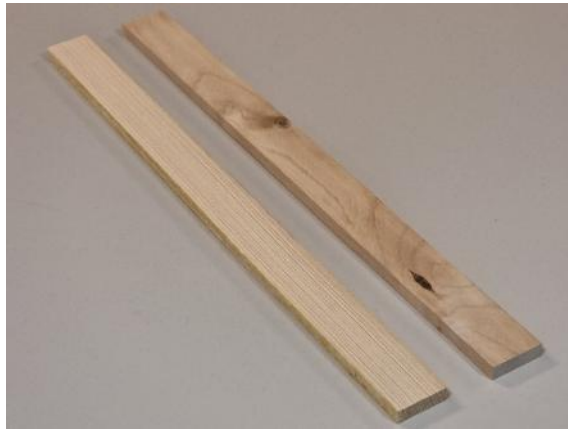


Abbildung 4: Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett als Beispiel für die Verwertung von Abbruchholz

### 2.3.1 Ausgangsmaterial

#### 2.3.1.1 Fenster

Fenster wurden aufgrund der Komplexität hinsichtlich Materialkombinationen, Dimensionen und Oberflächenausführung des Produktes in die Untersuchungen aufgenommen und im Labormaßstab nach den Materialien getrennt, sowie das Holz bearbeitet. Die untersuchten Fenster (Abbildung 5 und Tabelle 1) standen aus einem abgeschlossenen Forschungsprojekt zur Verfügung, in dem die Verlängerung der Lebensdauer von Fenstern bearbeitet wurde.



Abbildung 5: Fenster für die Verarbeitung zu Mehrschichtparkett-Mittellagen (ausgenommen: Nr. 2 bzw. nicht in der Abbildung: Nr. 13)

Tabelle 1: Fenster für die Herstellung von Mehrschichtparkett-Mittellagen

Nr.	Probe	Bezeichnung	Baujahr
1	TL-F12	einflügeliges Holzfenster mit Alu-Vorsatzschale	1993
3	TL-F13	einflügeliges Holzfenster mit Alu-Vorsatzschale	1993
4	TL-F14	einflügeliges Holzfenster mit Alu-Vorsatzschale	1993
5	TL-F15	zweiflügeliges Holzfenster	1993
6	TL-F16	einflügelige Holzfenstertür	keine Angabe
7	TL-F17	zweiflügeliges Holzfenster mit Pfosten	1991
8	TL-F18	zweiflügeliges Holzfenster	1991
9	TL-F19	einflügeliges Holzfenster	1991
10	TL-F20	zweiflügeliges Holzfenster mit Pfosten	1984
11	TL-F21	zweiflügeliges Holzfenster	1983
12	TL-F22	zweiflügeliges Holzfenster	1985
13	TL-F23	zweiflügeliges Holzfenster mit Alu-Vorsatzschale	1997

An der Holzforschung Austria wurde als erster Schritt die Dauer der manuellen Trennung der Fenster ermittelt. Die Fraktionen Holz, Glas, Beschläge, Vorsatzschale, Dichtungen und Kunststoffe wurden die Massen erhoben. Nach der Produktion der Stäbe wurde die Anzahl je Fenster ermittelt und den Massenanteilen der Fraktionen gegenübergestellt.

### 2.3.1.2 Kantholz

Abschnitte von ein- und zweistieligem Fichten-Kantholz (Abbildung 6) wurden durch die Firma tilo GmbH zu Mittellagenstäbe verarbeitet und die Anzahl der daraus hergestellten Stäbe bzw. die Ausbeute ermittelt.



Abbildung 6: Zwei- (Nr. 2, 5) und einstielige (Nr. 6, 9) Kantholzquerschnitte für die Verarbeitung zu Mehrschichtparkett-Mittellagen

### 2.3.1.3 Brettschichtholz

Aus Abschnitten von Brettschichtholz (Abbildung 7) wurden Lamellen gefertigt, die in Produktionsanlagen zu Mittellagenstäben aufgetrennt wurden. In einem Versuch der Firma tilo GmbH wurden BSH-Abschnitte zu Mittellagen in der gesamten Höhe des Brettschichtholzes produziert.



Abbildung 7: Brettschichtholz für die Verarbeitung zu Mehrschichtparkett-Mittellagen

## 2.3.2 Versuchsklebungen

Um eine etwaige Umstellung von frischem standardisiertem Material – meist Bretter gleicher Dicke, Breite und Länge – auf Altholz zu analysieren bzw. Proben und Referenzproben mit den gleichen Verfahren und den optimalen Parametern herstellen zu können, wurden systematische Versuche auf vier Anlagen durchgeführt.

Bei der Firma Scheucher Holzindustrie GmbH wurden Proben mit Eichen-Decklage (2-Schicht und 3-Schicht) und den Klebstoff-Arten EPI, 2K-PUR-Hotmelt und ULEF hergestellt (Abbildung 8).



Abbildung 8: Verklebung der Mittellagenstäbe mit Eichendecklagen in einer Etagenpresse

Bei der Firma tilo GmbH wurden Proben mit einem Versuchsklebstoff auf PVAc-Dispersionsbasis für die Laboruntersuchungen mit den Altholzmittelagen und Eichen-Decklage bzw. der Referenz zu 3-Schichtprodukten hergestellt.

### 2.3.3 Beurteilung der Klebung

Da die Produktion von mehrlagigem Probenmaterial mit einer Mittellage aus altem Holz und den Parametern der vier Fertigungsanlagen möglich war, konnten vergleichende Untersuchungen zur Verklebungsqualität mit Referenzmaterialien aus den Produktionslinien durchgeführt werden. Die Beurteilung der Klebung erfolgte aufgrund der zeitlichen Verschiebung der Probenherstellung in zwei Versuchsreihen. Dadurch wurden auch die Ergebnisse getrennt dargestellt. Die Untersuchung der Abhebefestigkeit von der Mittellage zur Decklage erfolgte in Anlehnung an ÖNORM EN 311:2002 und das Verhalten bei drei unterschiedlichen Lagerungsfolgen wurde gemäß ÖNORM EN 17456:2021 bestimmt.

#### 2.3.3.1 Abhebefestigkeit

Für die Abhebeversuche wurden Proben aus den in den Fertigungslinien hergestellten Produkten mit den Maßen 50 x 50 mm entnommen. Die Decklage der Proben wurden bis in der Tiefe von 0,3 mm der Mittellage mit einer Ringnut versehen. Die Proben wurden bei einer relativen Luftfeuchte von 50 % und einer Temperatur von 23 °C bis zur Massekonstanz klimatisiert. Danach wurden Stahlpilze mit 20 mm Durchmesser auf den Proben geklebt. Nach dem Aushärten des Klebstoffes wurde die Festigkeit an einer Universalprüfmaschine ermittelt. Die Geschwindigkeit wurde so gewählt, dass der Bruch innerhalb von 32 bis 56 Sekunden auftrat. Als Ergebnis wurde von jeder Probe die Abhebefestigkeit in [N/mm<sup>2</sup>] errechnet. Die Abhebefestigkeit wurde an jeweils zehn Proben untersucht und der Mittelwert ermittelt. Es wurde für jede Ausführung Proben mit frischem Mittellagenholz gegenübergestellt.

#### 2.3.3.2 Alterungsbehandlung durch Ofentrocknung

Es wurden Proben in einer Größe von 100 mm Länge x der Breite des Elementes zugeschnitten. Vor der Untersuchung wurden die Proben bei einer relativen Luftfeuchte von

50 % und einer Temperatur von 23 °C bis zur Massekonstanz klimatisiert. Die Proben wurden anschließend für 100 Stunden in den Darrschrank bei 60 °C getrocknet. Die Beurteilung der Delaminierung erfolgte an beiden Querschnitten A und B. Die offenen Fugen wurden mit einem Messschieber gemessen und für jeden Querschnitt wurde das Ergebnis als Prozentsatz der Delaminierungslänge bezogen auf die Decklagenbreite berechnet. Die Delaminierung durch Ofentrocknung wurde an jeweils 5 Proben untersucht.

#### 2.3.3.3 Alterungsbehandlung durch Feuchtklimalagerung und Rücktrocknung

Die Probenvorbereitung erfolgte analog der in Punkt 2.3.3.2 angeführten Untersuchung. Die Proben wurden anschließend für 72 Stunden in einen Klimaschrank mit einer relativen Luftfeuchte von 95 % und einer Temperatur von 23 °C gestellt. Nach der Feuchtklimalagerung wurden die Proben 24 Stunden bei einer Temperatur von 23 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % gelagert. Danach wurden die Proben 8 Stunden bei 60 °C und anschließend 16 Stunden bei 60 °C in einem Darrschrank getrocknet. Die Beurteilung erfolgte ebenfalls analog der Untersuchung in Punkt 2.3.3.2.

#### Alterungsbehandlung durch Wasserlagerung und Rücktrocknung

Die Probenvorbereitung erfolgte analog der in Punkt 2.3.3.2 angeführten Untersuchung. Die Proben wurden anschließend für 6 Stunden in Wasser mit einer konstanten Temperatur von 20 °C getaucht. Nach der Wasserlagerung wurden die Proben 24 Stunden bei einer Temperatur von 23 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % gelagert. Danach wurden die Proben 8 Stunden bei 60 °C und anschließend 16 Stunden bei 80 °C in einem Darrschrank getrocknet. Die Beurteilung erfolgte ebenfalls analog der Untersuchung in Punkt 2.3.3.2.

## **3 Ergebnisse und Diskussion**

### **3.1 Rohstoffqualität**

#### **3.1.1 Mit dem Estrich verklebtes Parkett**

Der Holzfußboden wurde mit einem sogenannten Stripper vom Estrich mechanisch entfernt (Abbildung 9) und im Anschluss wurde der Estrich für das Neuverlegen geschliffen.



Abbildung 9: Abtragen des Fußbodenbelags (Mehrschichtparkett) mittels Stripper

Eine Diele, die am Dachboden für etwaige Reparaturmöglichkeiten lagerte, und eine mäßig am Estrich verklebte Diele standen im Ganzen für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung. Darüber hinaus konnte kein Material für eine Wiederverwendung herangezogen bzw. als Halbprodukt in eine Produktion eingebracht werden. Das Material musste entsorgt werden (Abbildung 10).



Abbildung 10: Verwertbares Material (linkes und mittleres Bild) und der Holzabfall in Säcken (rechtes Bild) nach der Parkett-Entnahme

### 3.1.2 Lose verlegtes Parkett

Der Holzfußboden konnte aufgrund der losen (schwimmenden) Verlegung mit einer vierseitigen Nut-und-Feder-Verbindung relativ leicht entnommen werden. Die Verklebung der schmalseitigen Verbindung konnte ohne Beschädigung der Fräsungen gelöst werden. Im Bereich von den Fenstern waren Dielen geschädigt, die vermutlich durch Wasser verursacht wurden. Diese Bereiche zeigten Verfärbungen, offene Fugen und auch von Fugen ausgehende Ablösungen der Decklage vom Trägermaterial (Abbildung 11).



Abbildung 11: Partielle Schäden (Verfärbungen, offene Fugen und Ablösungen) an Mehrschichtparkett-Elementen

Die entnommenen Elemente wurden für die weitere Verarbeitung nach Längen sortiert (Abbildung 12) und geschädigte Dielen ausgesondert.



Abbildung 12: Für die weitere Bearbeitung vorbereitete Mehrschichtparkett-Elemente und -abschnitte

Die Mehrschichtparkett-Dielen wurden durch die Firma tilo GmbH in Manufakturarbeit aufbereitet.

Partiell geschädigte Dielenbereiche wurden gekürzt. Da die bestehende Nut-Feder-Verbindung mit altem Klebstoff behaftet war und um wieder eine passgenaue Verbindung der Dielen zueinander zu gewährleisten, wurde eine neue Nut-Feder-Verbindung hergestellt. Dadurch hatte nur der mittlere Stabe der Decklage die Originalbreite. Die Nutzfläche wurde geschliffen, gebürstet und mit einer Ölbehandlung versehen (Abbildung 13).



Abbildung 13: Oberfläche eines überarbeiteten Mehrschichtparkett-Elementes

Aus den ca. 17 m<sup>2</sup> des ursprünglich verlegten Parketts entstanden ca. 11 m<sup>2</sup> Holzfußboden. Ein Teil des hergestellten Bodens wurde abermals als Musterfläche lose (schwimmend) verlegt (Abbildung 14).



Abbildung 14: Überarbeitete (linkes Bild) und neu verlegte Parkettdecken (rechtes Bild)

## 3.2 Altholz-Oberflächen

### 3.2.1 Mikroskopische Untersuchungen

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen in Aufsicht konnten Verschmutzungen und Erosion der Grenzschicht zeigen. Im Querschnitt wurde ein Abbau im Bereich zwischen Früh- und Spätholz festgestellt.

Die REM-Aufnahmen der Altholz-Querschnitte in Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen im Grenzbereich Abbauerscheinungen mit Ablösungen zwischen Früh- und Spätholz. Risse in den Zellwänden im Frühholz und Ablösungen der Zellwände im Spätholz sind erkennbar.

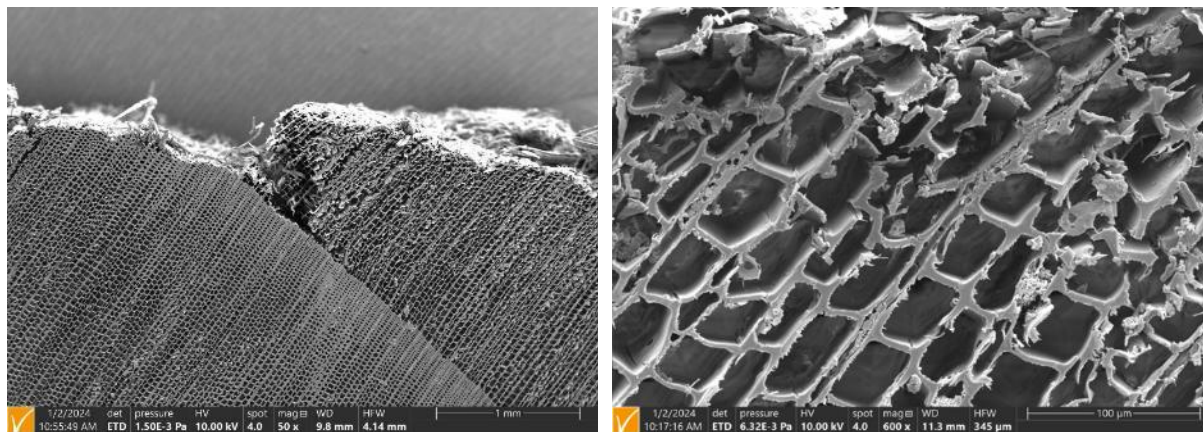


Abbildung 15: REM-Aufnahmen des Altholz-Querschnittes im Grenzbereich (linkes Bild, Maßstab 1.50; rechtes Bild, Maßstab 1:600)

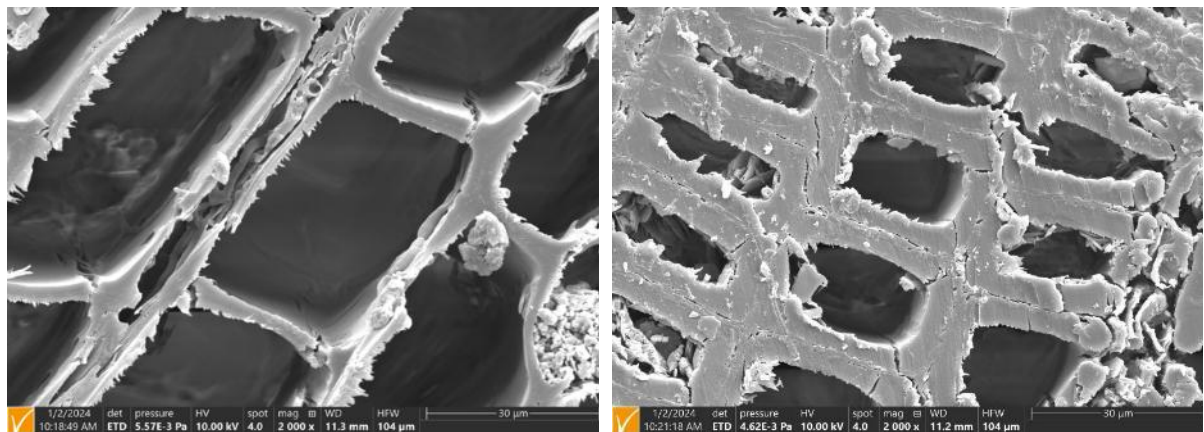


Abbildung 16: REM-Aufnahmen des Querschnittes des Altholzes (linkes und rechtes Bild, Maßstab 1:2000)

Die REM-Aufnahmen der Längsschnitte des Altholzes (Abbildung 17) zeigen Abbauerscheinungen im Grenzbereich. Ebenfalls im Grenzbereich des Holzes sind Hyphen von holzerstörenden Pilzen in der Holzstruktur zu sehen.

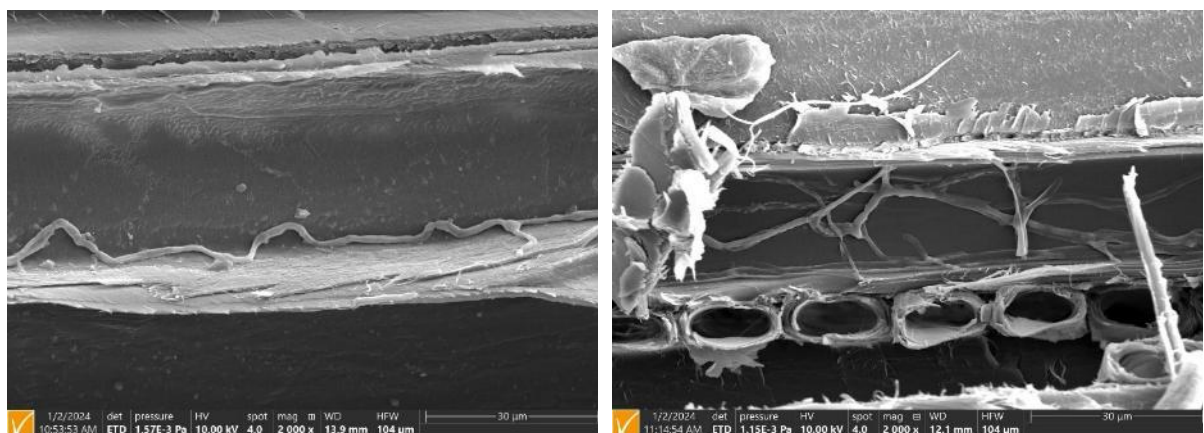


Abbildung 17: REM-Aufnahmen des Altholz-Längsschnittes mit Pilzhyphen (linkes und rechtes Bild, Maßstab 1:2000)

### 3.2.2 Erscheinungsbild und Farbe

Bei der visuellen Bewertung war Altholz in Fichte gegenüber frischem Fichtenholz wesentlich dunkler und hatte eine rötlichbraune Farbgebung. Der Unterschied zwischen radialer und tangentialer Schnittrichtung war in Abhängigkeit des zusammenhängenden Flächenanteils von Früh- zu Spätholz zu sehen (Abbildung 18). Die Altholzoberfläche ist bei beiden Probenpaaren jeweils das linke Bild.



Abbildung 18: radiale (linkes Bild) und tangentialer (rechtes Bild) Schnittrichtung von Altholz im Vergleich zu frischem Holz

Die Mischfarbe von dem untersuchten Altholz in radialer Schnittrichtung hatte im CIEL\*a\*b\*-System im Vergleich zu frischem Fichtenholz einen Gesamtfarbdifferenz  $\Delta E^*$  von 11,3. Der Unterschied in der Helligkeit zeigte ein  $\Delta L^*$  von - 9,3 (dunkler). Die Unterschiede der Farbwerte waren  $\Delta a^* = 4,1$  (rot) und  $\Delta b^* = 4,9$  (gelb).

In tangentialer Schnittrichtung hatte die Mischfarbe im CIEL\*a\*b\*-System von Altholz zu frischem Fichtenholz eine Gesamtfarbdifferenz  $\Delta E^*$  von 13,0. Der Unterschied in der Helligkeit zeigte ein  $\Delta L^*$  von - 10,8 (dunkler) und die Unterschiede der Farbwerte waren  $\Delta a^* = 5,4$  (rot) und  $\Delta b^* = 4,7$  (gelb).

Da es sich bei der Farbmessung um eine ermittelte Mischfarbe von Holz an einem Messfleck handelt, hängen die erzielten Werte von der Messgeometrie und dem Ausgangsmaterial in Form von Holzart, Jahrringbreite, Früh- und Spätholzanteil und Schnittrichtung ab. Der Farbunterschied ist im Wesentlichen beim Frühholz zu finden.

Die Farbe des Holzes aus dem 17. Jahrhundert ist eindeutig zu frischem Holz zu unterscheiden. Das Altholz in Fichte weist eine rötlichbraune Farbe auf. Dies ist aufgrund der Dauer der Exposition mit den klimatischen Bedingungen begründet. Bei wesentlich kürzerer

Exposition wird diese Farbdifferenz in Abhängigkeit der Klimaparametern geringer ausfallen, wie an den neueren Produkten, wie am Brettschichtholz zu sehen ist.

### 3.2.3 Kontaktwinkel

Beim Spätholz konnte bei der Kontaktwinkel-Messung kein Unterschied bei Fichte zwischen Altholz und frischem Holz festgestellt werden. Der Mittelwert lag bei jeweils  $\theta_Y = 52^\circ$ . Der Kontaktwinkel beim Frühholz zeigte kein eindeutiges Ergebnis. Der Mittelwert des Kontaktwinkels war bei altem Frühholz ( $\theta_Y = 66^\circ$ ) gegenüber dem frischen Holz ( $\theta_Y = 39^\circ$ ) größer und zeigte eine größere Variabilität (Abbildung 19).

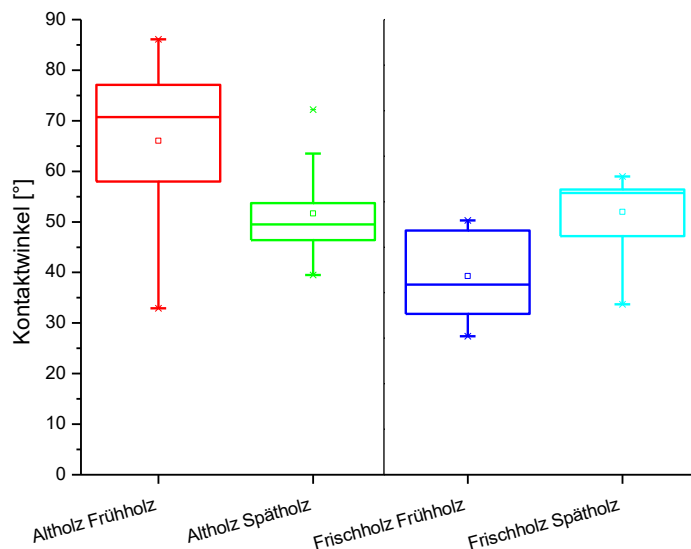


Abbildung 19: Kontaktwinkel von Früh- und Spätholz von Altholz im Vergleich zu frischem Holz in Fichte

Da die ermittelten Kontaktwinkel, sowohl beim alten als auch beim frischen Spätholz, als Mittelwert gleich war, ist davon auszugehen, dass die Verklebungseigenschaften ident sind. Bei der Oberflächenbehandlung von Altholz ist die Benetzungseigenschaft nur bedingt relevant, da Altholz nicht beschichtet, sondern geölt bzw. gewachst wird.

### 3.2.4 pH-Wert

An der untersuchten Suspension von Altholz in Fichte wurde ein pH-Wert von 5,4 ermittelt. Als Referenzwert wurde bei frischem Fichtenholz mit der angeführten Methode ein pH-Wert von 4,8 festgestellt.

In der Literatur (Wagenführ, 2007) werden für Fichte pH-Werte von 4,0...5,3 angegeben. Die ermittelten Werte sowohl von alter als auch von frischer Fichte sind hier zuzuordnen.

Häufig verwendete einheimische Holzarten, wie Eiche haben einen pH-Wert von etwa 3,9, Lärche 4,2 (Kernholz) und Tanne 5,5...6,1. Einen Einfluss der etwaigen Unterschiede des pH-

Wertes durch Alterung auf die Verklebung bzw. auf andere Bearbeitungsschritte sind daher nicht zu erwarten.

### 3.3 Klebung

#### 3.3.1 Ausgangsmaterial

##### 3.3.1.1 Fenster

Beim Zerlegen der zur Verfügung gestandenen Altfenster wurde die Dauer der manuellen Trennung ermittelt. Die Dauer der Materialtrennung der Fenster lag zwischen 15 und 51 Minuten (Abbildung 20). Am längsten dauerte das Zerlegen des Rahmens der Fenstertür TL-F16 mit 34 Minuten.

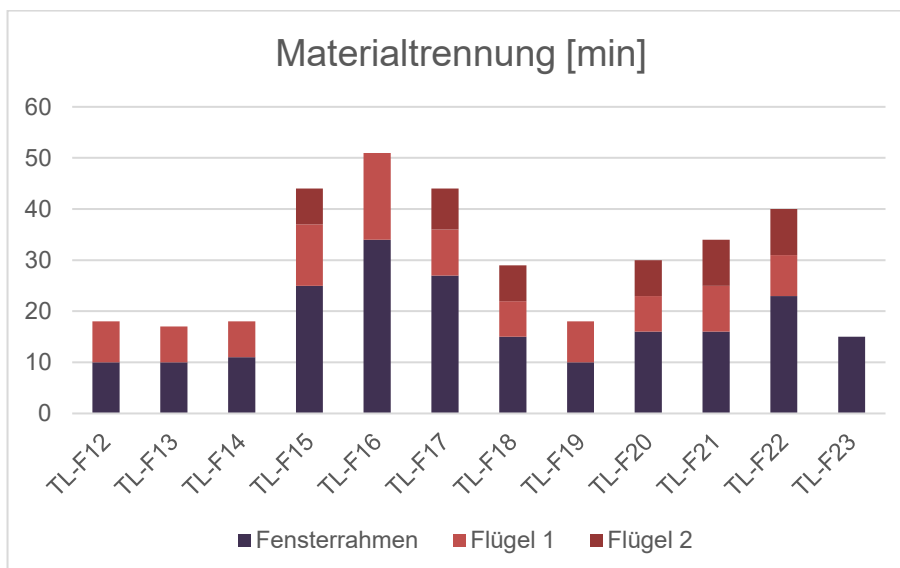


Abbildung 20: Zeitaufwand für die manuelle stoffliche Trennung von Altfenstern

Die Demontagezeiten hängen im Wesentlichen von der Größe und Konstruktion des Fensters ab. Sehr unterschiedliche Zeiten ergaben sich vor allem bei der Trennung der Materialien von Fensterrahmen. Die Materialtrennung von Fensterrahmen benötigt bei allen Konstruktionen mehr Zeit als von den Fensterflügeln.

Die Fraktionen Holz, Glas, Beschläge, Vorsatzschale, Dichtungen und Kunststoffe wurden in Massen erhoben (Abbildung 21). Den größten Massenanteil hatte das Glas (37 bis 66 %). Der Holzanteil war bei allen untersuchten Altfenstern an zweiter Stelle (34 bis 54 %). Alle weiteren Materialien lagen bezüglich Masse weit abgeschlagen.

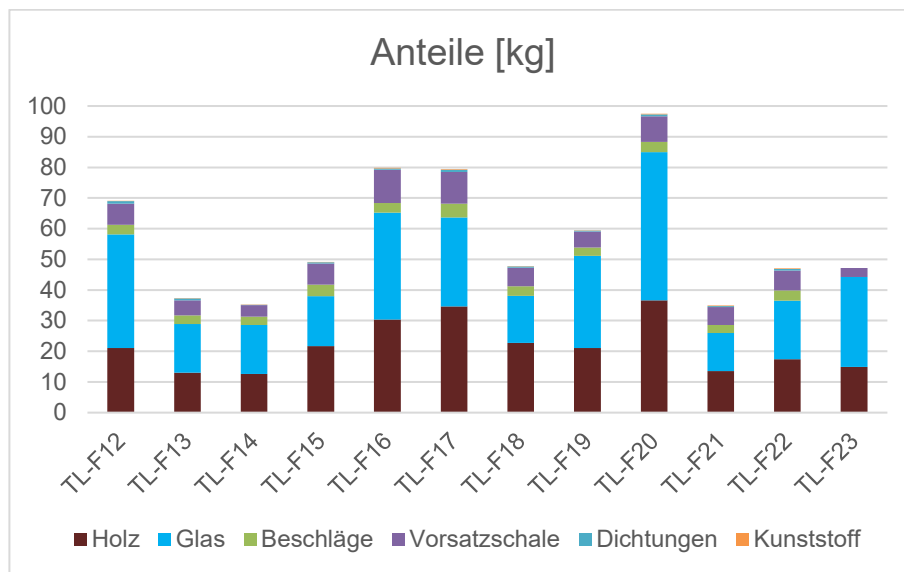


Abbildung 21: Massen der Fraktionen von Altfenstern

Auf Basis der vorgegebenen Dimensionen und Querschnitte, sowie unter Berücksichtigung der zu entfernenden mit Bioziden ausgerüsteter Oberflächenbehandlung, wurden aus dem Holz der Altfenster Mittellagenstäbe im Labormaßstab hergestellt (Abbildung 22).



Abbildung 22: Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett aus Altfenstern

Beim Auftrennen des Holzes aus Fensterrahmen und Fensterflügeln ist von einer sehr guten Holzqualität auszugehen. Die Herausforderung beim Zuschnitt ist der Querschnitt mit den Profilierungen und dem notwendigen Beschichtungsabtrag aufgrund von etwaigen Kontaminationen. Dabei bleibt nur ein kleiner Querschnitt übrig, der in Stäbe aufgetrennt werden kann. Es ist bei diesem Ausgangsprodukt nicht möglich unmittelbar vor der Verklebung den Schnitt für die Verklebungsfläche durchzuführen und damit in weiterer Folge eine gute Verklebung sicherzustellen.

Die Anzahl der hergestellten Stäbe je Altfenster wurde ermittelt (Abbildung 23). Je nach Art, Größe und Konstruktion konnten zwischen 64 und 180 Stäbe je Fenster produziert werden.

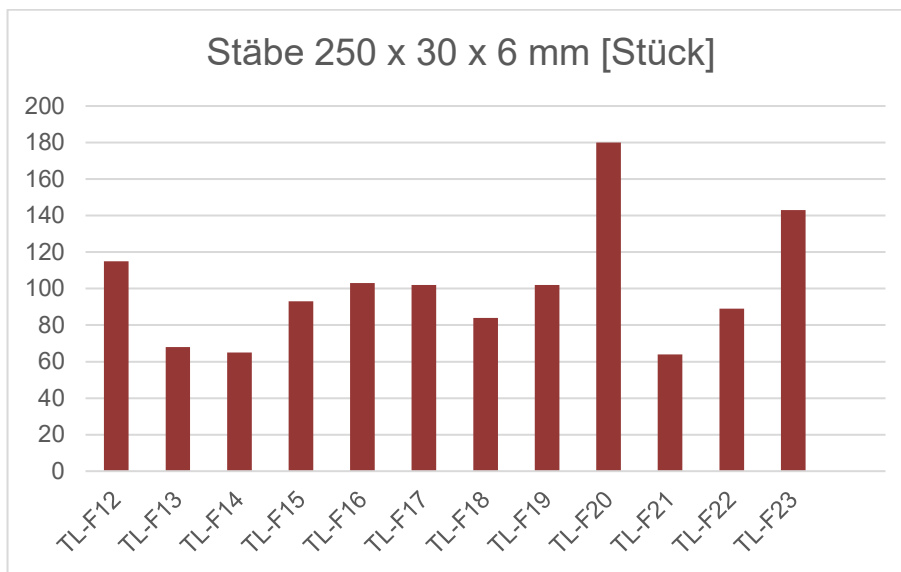


Abbildung 23: Anzahl an Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett aus Altfenstern

Die Abbildung 24 zeigt die Relativanteile der Fraktionen von den Altfenstern ohne Vorsatzschale mit Ausweisung des nutzbaren Holzanteils. Der relative Massenanteil an fertigen Stäben war zwischen 5 und 9 % des Fensters. Auch wenn die Ausbeute der produzierten Stäbe in Bezug auf das eingesetzte Holz gerechnet wird, kommt man im Idealfall auf 16 %.

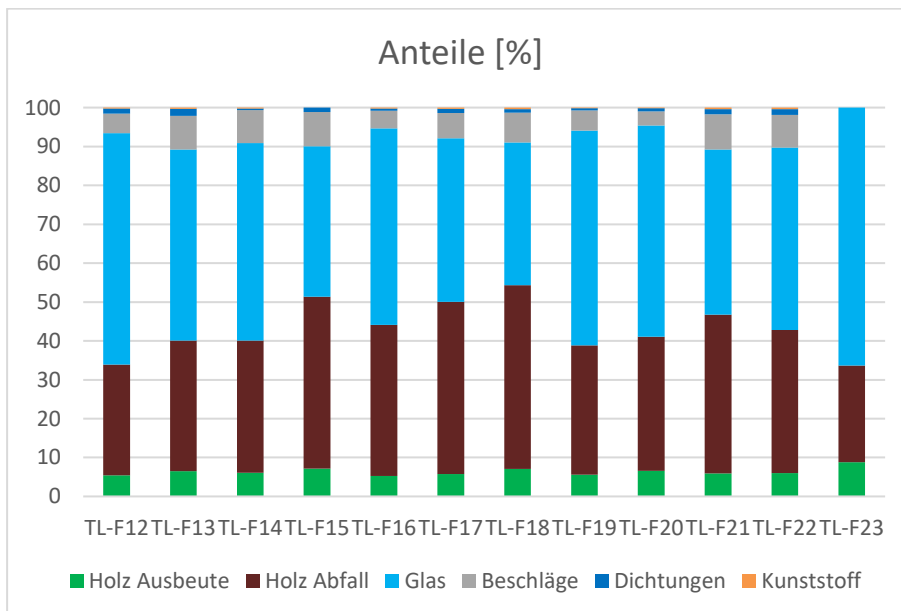


Abbildung 24: Relative Massenanteile der Fraktionen von Altfenstern ohne Vorsatzschale mit Ausweisung des nutzbaren Holzanteils

### 3.3.1.2 Kantholz und Brettschichtholz

Abschnitte von ein- und zweiteiligem Kantholz wurden durch die Firma tilo GmbH zu Mittellagenstäbe verarbeitet. Die daraus hergestellten Stäbe sind in Tabelle 2 bzw. die ermittelten Ausbeuten in Abbildung 25 gegenübergestellt. Bei den Kanthölzern wurde eine

Ausbeute von 30 bis 38 % erzielt. Eine Aussage bezüglich des Einflusses von ein- bzw. zweistieligem Kantholz als Ausgangsmaterial konnte nicht getroffen werden. Bei den zweistieligen Kanthölzern wurde die geringste und die höchste Ausbeute erzielt. Dies kann mit unterschiedlichen Verformungen (Längs- und Querkrümmungen) und trotz dem zweistieligem Einschnitt vorhandenen Rissen begründet werden. Dem gegenüber wurden mit Brettschichtholz-Lamellenabschnitte ohne wesentliche Krümmungen und ohne offensichtlich sichtbare Risse eine Ausbeute an Mittellagenstäbe von 46 % erzielt.

Tabelle 2: Abmessungen und erzielte Stückzahl von Mittellagenstäben für Mehrschichtparkett

Probe	Rohmaße [mm]			Fertigmaße [mm]			Stück
	Länge	Breite	Höhe	Länge	Breite	Höhe	
Kantholz 2	1050	205	95	197	28	8,5	132
Kantholz 5	1050	205	115				200
Kantholz 6	1050	205	155				244
Kantholz 9	1050	200	155				248
8 BSH Lamellen	750	215	45				573

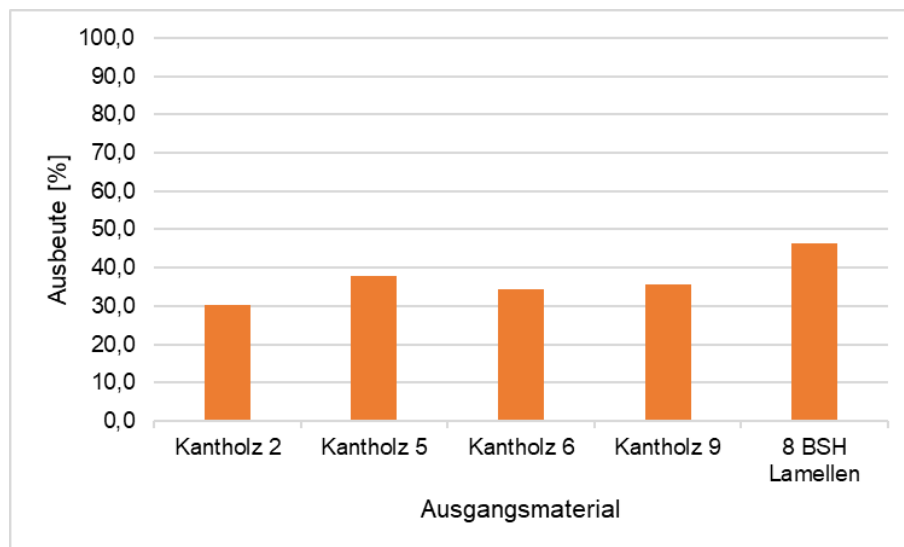


Abbildung 25: Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett aus Kantholzabschnitten

In der Abbildung 26 ist zu sehen, was im Zuge der Formatierung des Altholzes trotz sorgfältigen Vorbereitungen und Entfernen von metallischen Verbindungsmitteln zum Vorschein kam. Durch einen solchen unerwünschten Werkzeugkontakt reduziert sich auf jeden Fall die Standzeit wesentlich, wenn nicht gar eine Beschädigung auf Werkzeug bzw. Maschine auftritt. Das Schrauben und andere metallische Verbindungsmitteln anzutreffen sind, sah man auch bei der weiteren Verarbeitung, wo Bohrungen mit Gewindeabdruck in den Stäben zu sehen waren.



Abbildung 26: Durch eine Kreissäge bearbeiteter Schrauben

Die Qualität der Mittellagenstäbe aus Kantholz ist in Abbildung 27 ersichtlich. Einen Rückschluss auf das gealterte Kantholz geben vor allem die Trocknungsrisse und die Färbungen. Festverwachsene Äste und nicht festverwachsene Äste sind in unterschiedlicher Größe und Häufigkeit in den erzeugten Stäben vorhanden und bedürfen je nach Ausgangsprodukt einer nachgeordneten Sortierung.



Abbildung 27: Mittellagenstäbe aus Kantholz

Eine Auswahl an Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz sind in Abbildung 28 zu sehen. Auffällig sind die dunkelbraunen Längsfugen- und die Keilzinkenklebungen mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Klebstoff. Die Holzqualität entspricht der Brettschichtholz-Qualität und unterscheidet sich zu den Stäben aus dem Kantholz wesentlich. Es sind ausschließlich festverwachsene Äste mit kleinen Abmessungen und Punktäste feststellbar. Die Stäbe weisen eine geringe Rissbildung auf.



Abbildung 28: Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz

Die Mittellagen-Elemente aus der gesamten Höhe des Brettschichtholzes sind in der Abbildung 29 dargestellt. In diesem Fall sind keine dunklen Klebstoffugen feststellbar und es ist daher auf eine Aminoharz-Verklebung zu schließen. Auch hier sind festverwachsene Äste vorrangig. Die Wahrnehmung der Farbe des Brettschichtholzes entspricht dem von frischem Holz.



Abbildung 29: Mittellage aus Brettschichtholz (Elementlänge ist die Brettschichtholz-Höhe)

### 3.3.2 Versuchsklebungen

Die Versuche in den vier Produktionsanlagen zeigten, dass mit Adaptierungen von Anlagenkomponenten zur Einbringung der Ausgangsmaterialien die automatisierte Produktion von Mehrschichtprodukten mit vorgefertigten Lamellenabschnitten bzw. mit Mittellagenstäben aus Altholz möglich ist. Es hat sich gezeigt, dass auf jeden Fall eine Detektion von metallischen Materialien notwendig ist, um eine schadensfreie Produktion zu gewährleisten. Für das Einbringen und der innerbetriebliche Transport von Halbprodukten werden zusätzliche Vorrichtungen als sinnvoll erachtet. Beim Einsatz von anderen Holzarten als Fichte und Kiefer können Justierungen zur Materialdetektion notwendig sein.

### 3.3.3 Beurteilung der Klebung mit EPI-, PUR- und ULEF-Klebstoff

#### 3.3.3.1 Abhebefestigkeit

In Abbildung 30 bis Abbildung 35 sind die Bruchbilder der Proben mit den drei Klebstoffen auf Basis von einer EPI-Dispersion, eines 2K-PUR-Hotmelt und eines ULEF-Klebstoffes dargestellt. Die Proben wurden mit Mittellagen aus gebrauchtem Brettschicht- und Fensterholz hergestellt.

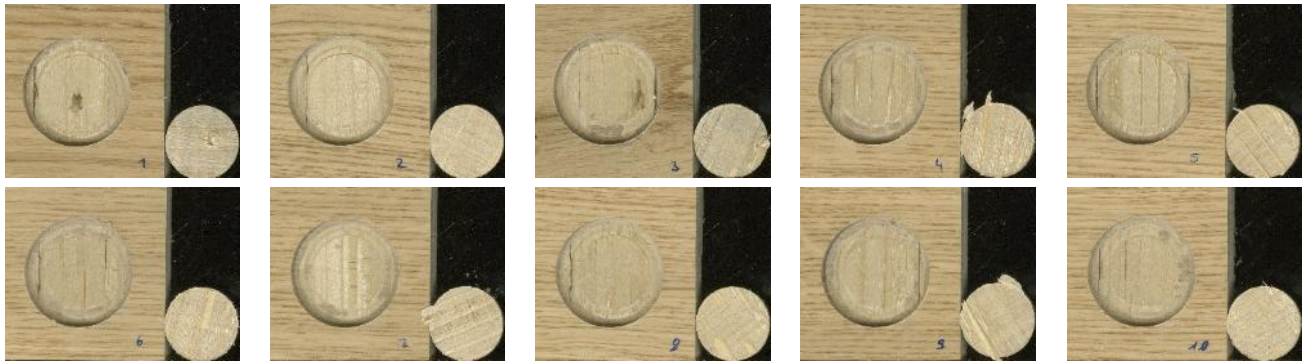


Abbildung 30: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer EPI-Verklebung

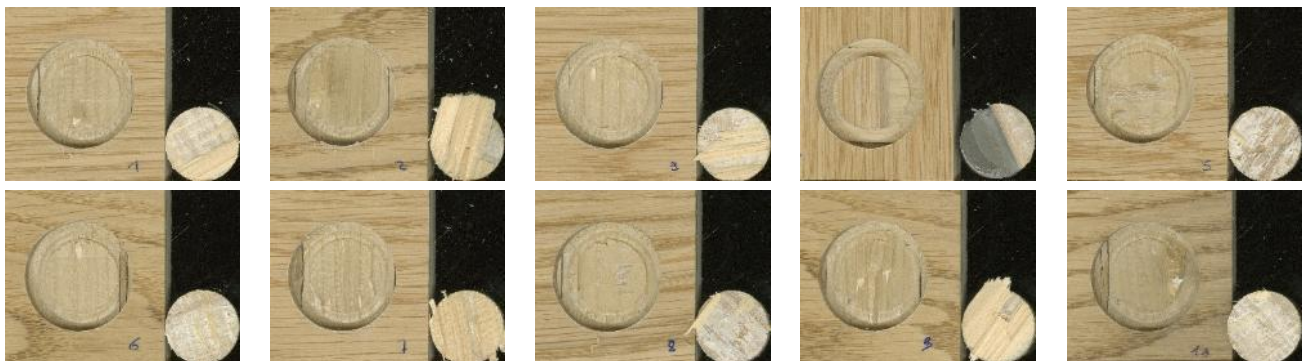


Abbildung 31: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer PUR-Verklebung

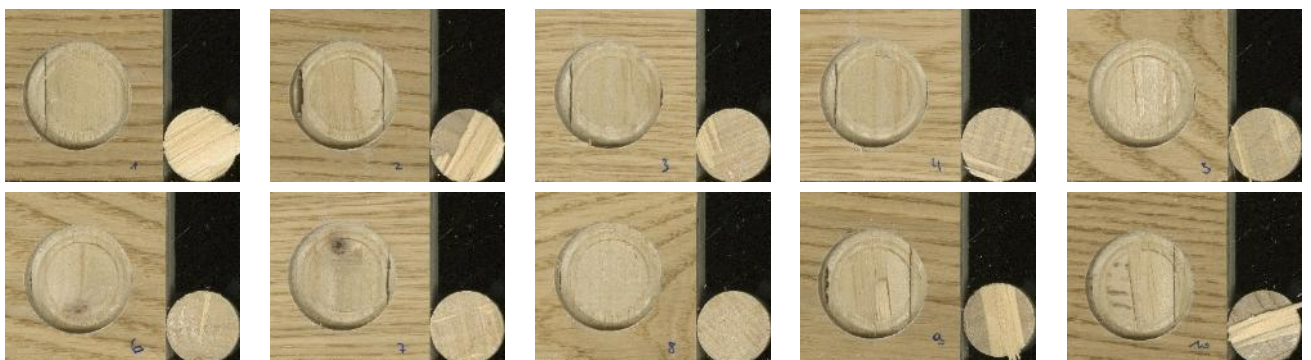


Abbildung 32: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer ULEF-Verklebung

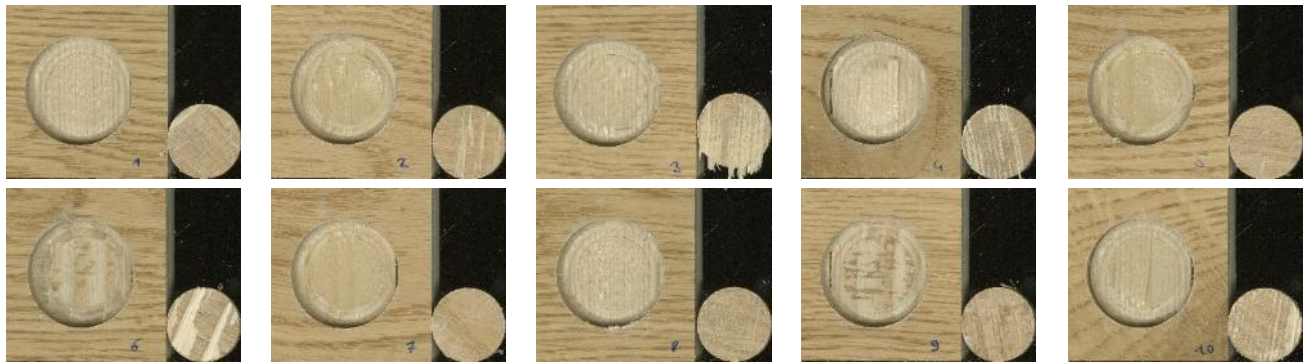


Abbildung 33: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Fenster (Fichte) und einer ULEF-Verklebung

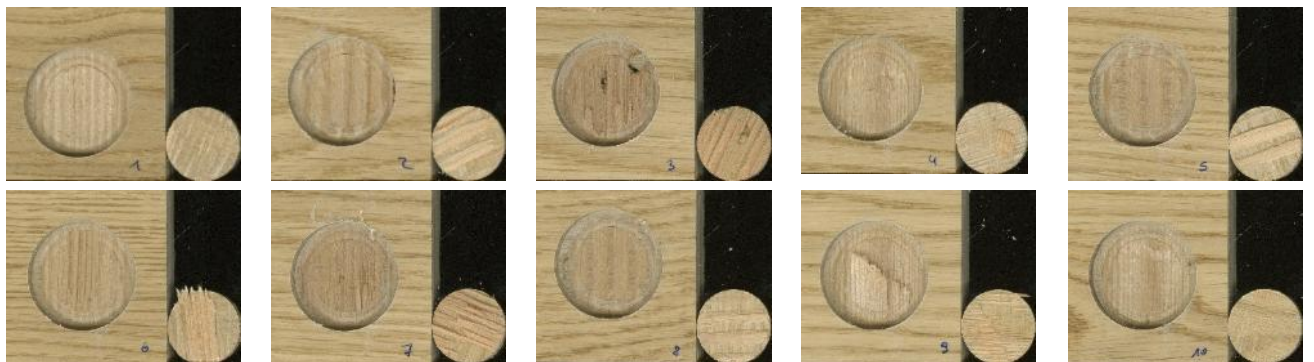


Abbildung 34: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Fenster (Lärche) und einer ULEF-Verklebung

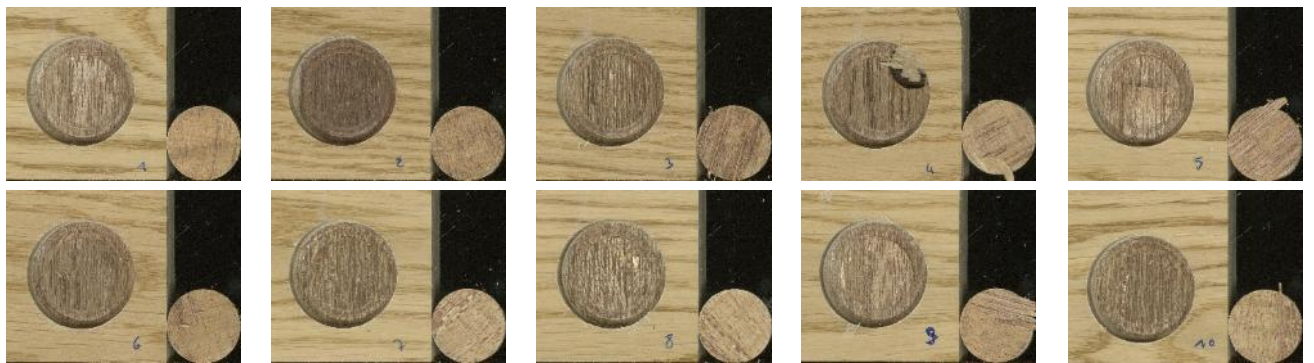


Abbildung 35: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Fenster (Meranti) und einer ULEF-Verklebung

Bei allen drei Klebstoffen konnte ein Mittelwert der Verklebung über  $1,1 \text{ N/mm}^2$  ermittelt werden. Der höchste Mittelwert von  $3,4 \text{ N/mm}^2$  wurde bei der ULEF-Verklebung mit Lärchenholz aus Fenstern (LA-Fenster ULEF) als Mittellage erzielt. Bei der EPI-Dispersion und beim PUR-Hotmelt-Klebstoff war kein signifikanter Zusammenhang der Abhebefestigkeit zwischen der Mittellage aus frischem Holz und Brettschichtholz erkennbar (Abbildung 36).

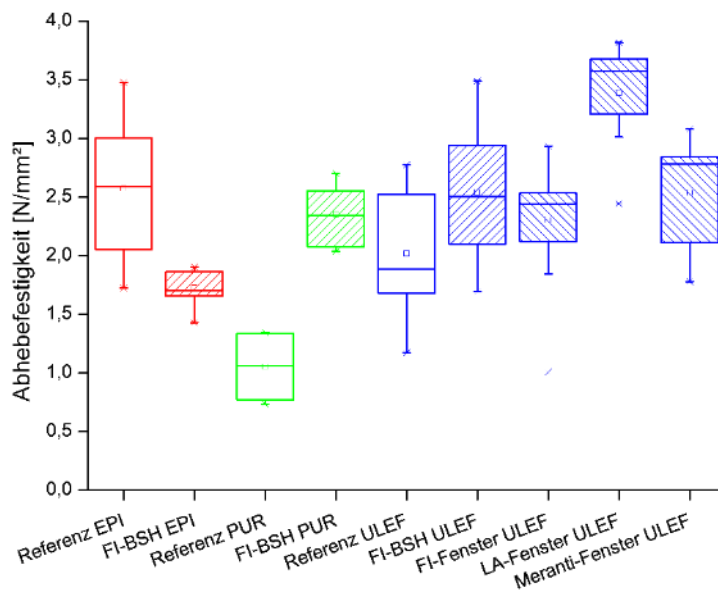


Abbildung 36: Abhebefestigkeit der Proben mit den drei Klebstoffen auf Basis von EPI, PUR und ULEF  
Die mittlere Abhebefestigkeit von 1,0 N/mm<sup>2</sup> wurden von allen Serien erfüllt.

Der mittlere Holzbruchanteil in der Mittellage war beim Mehrschichtprodukt mit EPI-Klebstoff und Mittellagenstäben aus Brettschichtholz (FI-BSH EPI) mit 90 % höher als bei den Referenzproben mit den Mittellagenstäben in Fichte (Referenz EPI) mit 77%.

Der mittlere Holzbruchanteil in der Mittellage war beim Mehrschichtprodukt mit 2-K-PUR-Hotmelt-Klebstoff und Mittellagenstäben aus Brettschichtholz (FI-BSH PUR) mit 50 % niedriger als bei den Referenzproben mit den Mittellagenstäben in Fichte (Referenz PUR) mit 93%.

Bei den Produkten mit ULEF-Klebstoff und Mittellagenstäben aus Fensterholz in Fichte (FI-Fenster ULEF), in Meranti (Meranti-Fenster ULEF) und die Referenzproben mit den Fichte-Mittellagenstäben (Referenz ULEF) lag der mittlere Holzbruchanteil in der Mittellage bei 30 %. Das Produkt mit Lärchenholzmittellage (LA-Fenster ULEF) verzeichnete einen mittleren Holzbruchanteil in der Mittellage von 52 %.

Das eingesetzte Holz aus einer vorangegangenen Nutzung in der Mittellage zeigte beim Bruchverhalten bei den Untersuchungen zur Ermittlung der Festigkeit gegenüber frischem Holz kein abweichendes Verhalten.

### 3.3.3.2 Alterungsbehandlung durch Ofentrocknung

Die Verklebungen an den Proben zeigten nach 100 Stunden Lagerung bei 60 °C mit Ausnahme von zwei Proben an einem Querschnitt keine Delaminierungen. In der Tabelle 3 sind die Länge der Enthaltungen der Klebefugen von Querschnitt A und B angeführt. An der Probe 5 der Serie FI-BSH EPI konnte am Querschnitt B eine Delaminierung in einer Länge von 5,2 mm (7,4 % der Decklagenbreite) und an der Probe 2 der Serie FI-Fenster ULEF am Querschnitt A eine Delaminierung in einer Länge von 25,3 mm (11,5 % der Decklagenbreite)

festgestellt werden. Die Abbildung 37 zeigt die Querschnitte A der Serie FI-Fenster ULEF, wo die Probe 2 mit der größten Delaminierung mit einem Pfeil markiert ist.

Tabelle 3: Delaminierungen von Klebungen nach 100 Stunden Lagerung bei 60 °C

Probe	Querschnitt A		Querschnitt B	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Mittellage aus Brettschichtholz mit EPI-Klebung (FI-BSH EPI)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	5,2	7,4
Mittellage aus Brettschichtholz mit PUR-Klebung (FI-BSH PUR)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit ULEF-Klebung (FI-BSH ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Fenster mit ULEF-Klebung (FI-Fenster ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	25,3	11,5	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Lärchen-Fenster mit ULEF-Klebung (LA-Fenster ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Meranti-Fenster mit ULEF-Klebung (Meranti-Fenster ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0



Abbildung 37: Querschnitt A der Serie FI-Fenster ULEF nach 100 Stunden bei 60 °C, Delaminierung der Probe 2

Normativ (ÖNORM EN 13489, 2023) ist die Grenze für den Mittelwert der Deckschicht-Delaminierung nach der Alterungsbehandlung Ofentrocknung  $\leq 1\%$  und für Einzelwerte  $\leq 5\%$ . Bei 4 Serien (FI-BSH PUR, FI-BSH ULEF, LA-Fenster ULEF und Meranti-Fenster ULEF) wurden keine Delaminierungen festgestellt und erfüllten die Anforderung. Jeweils 4 Proben der 2 Serien (FI-BSH EPI und FI-Fenster ULEF) hatten keine Delaminierung. Die zwei Delaminierungen erfüllten die Anforderung nicht.

Ein wesentlicher Unterschied zur Serienproduktion lag in der Probenvorbereitung. Das Holz für die Serienproduktion ist auf die vorgegebene Anforderung getrocknet und bei der Sortierung ist eventuell auch die Jahrringlage berücksichtigt. Dadurch ist nur mit geringen Dickenunterschieden der einzelnen Stäbe bei Klimaschwankungen zu rechnen.

Bei den Versuchsmaterialien wurde das Schnittbild aufgrund eines vorliegenden Materials im Wesentlichen auf die Ausbeute festgelegt. Das alte Holz aus den unterschiedlichen Verwendungsbereichen wurde nicht mehr künstlich getrocknet. Dadurch kann es bei weiterer Konditionierung zu Dickenabweichungen von einzelnen Stäben kommen, die zu Unterschieden des Pressdruckes in den Elementen führen. Zusätzlich wurden je nach Entnahmestelle und Bearbeitungsmöglichkeiten unterschiedliche Bearbeitungstechnologien eingesetzt. Vor allem wurde bei der Verarbeitung von Fensterteilen die Oberflächen der Stäbe gehobelt.

### 3.3.3.3 Alterungsbehandlung durch Feuchtklimalagerung und Rücktrocknung

Die Verklebungen an den Proben zeigten nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte an vier Proben jeweils an einem Querschnitt eine Delaminierung. (Tabelle 4). Die

Abbildung 38 zeigt die Querschnitte B der Serie FI-BSH EPI, wo auch die Probe 5 mit der größten Delaminierung mit einem Pfeil markiert ist.

Tabelle 4: Delaminierungen von Klebungen nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte

Probe	Querschnitt A		Querschnitt B	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>Mittellage aus Brettschichtholz mit EPI-Klebung (FI-BSH EPI)</b>				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	7,6	10,9	0,0	0,0
3	6,9	9,9	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	11,3	16,3
<b>Mittellage aus Brettschichtholz mit PUR-Klebung (FI-BSH PUR)</b>				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mittellage aus Brettschichtholz mit ULEF-Klebung (FI-BSH ULEF)</b>				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mittellage aus Fenster mit ULEF-Klebung (FI-Fenster ULEF)</b>				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	7,6	3,4
5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mittellage aus Lärchen-Fenster mit ULEF-Klebung (LA-Fenster ULEF)</b>				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mittellage aus Meranti-Fenster mit ULEF-Klebung (Meranti-Fenster ULEF)</b>				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0

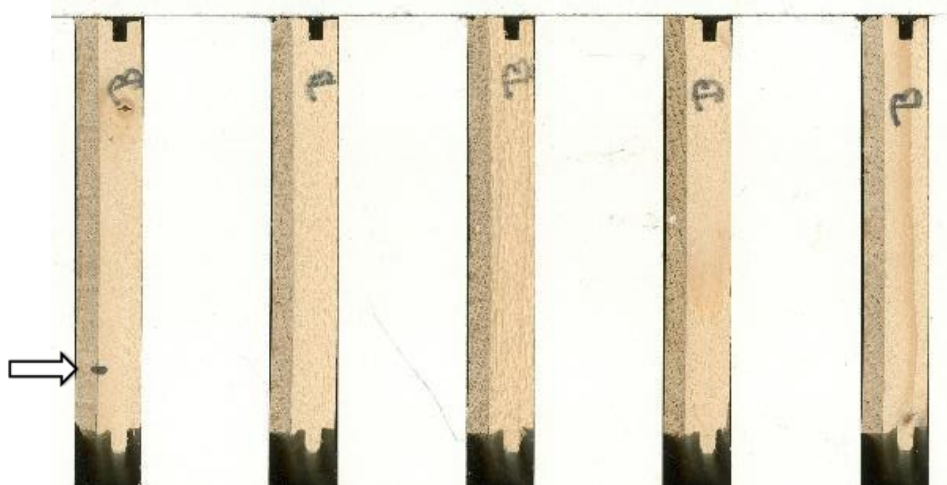


Abbildung 38: Querschnitt B der Serie FI-BSH EPI nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte, Delaminierung der Probe 5

Die Lagerung mit Feuchtklima ist ein Verfahren zur Beurteilung von Mehrschichtparkett, das aufgrund des Vergleiches mit Referenzmustern und mit PVAc-Klebstoff herangezogen wurde.

Bei vier Serien (FI-BSH PUR, FI-BSH ULEF, LA-Fenster ULEF und Meranti-Fenster ULEF) wurden keine Delaminierungen festgestellt. Die Delaminierungen an einem Querschnitt wurden an den zwei Serien (FI-BSH EPI und FI-Fenster ULEF) festgestellt, die auch bei der Ofentrocknung Delaminierungen zeigten.

### 3.3.3.4 Alterungsbehandlung durch Wasserlagerung und Rücktrocknung

Die Verklebungen an den Proben zeigten nach 6 Stunden Wasserlagerung an fünf Proben, vier davon an beiden Querschnitten eine Delaminierung (Tabelle 5). Die Abbildung 39 zeigt die Querschnitte A der Proben der Serie Meranti-Fenster ULEF, wo auch die Probe 3 mit der größten Delaminierung mit einem Pfeil markiert ist.

Tabelle 5: Delaminierungen von Klebungen nach 6 Stunden Wasserlagerung

Probe	Querschnitt A		Querschnitt B	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Mittellage aus Brettschichtholz mit EPI-Klebung (FI-BSH EPI)				
1	9,6	9,6	5,3	7,6
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PUR-Klebung (FI-BSH PUR)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit ULEF-Klebung (FI-BSH ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0

4	13,6	6,1	20,3	9,2
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Fenster mit ULEF-Klebung (FI-Fenster ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	3,4	1,6	14,8	6,7
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Lärchen-Fenster mit ULEF-Klebung (LA-Fenster ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	8,9	4,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Meranti-Fenster mit ULEF-Klebung (Meranti-Fenster ULEF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	82,4	37,2	40,4	18,3
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0

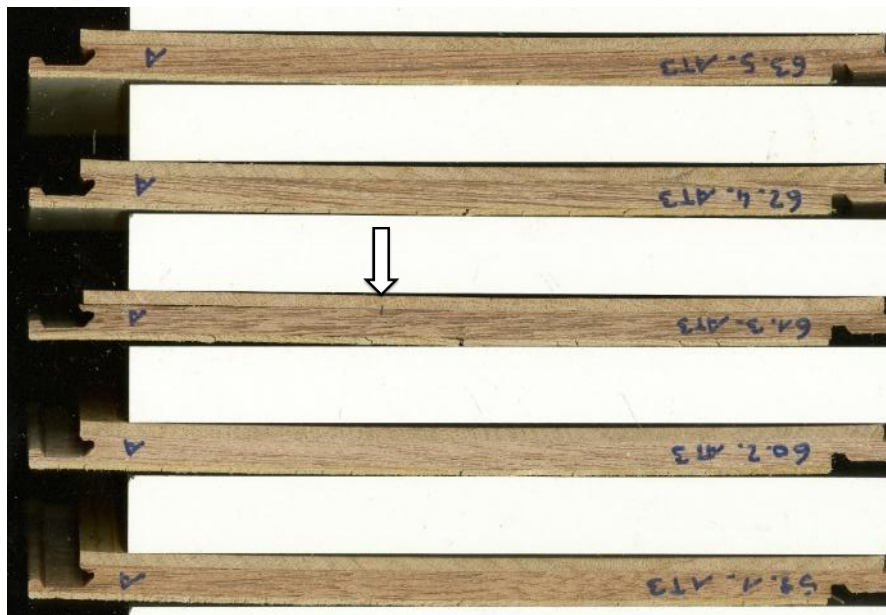


Abbildung 39: Querschnitt A der Serie Meranti-Fenster ULEF nach 6 Stunden Wasserlagerung, Delaminierung der Probe 3

Bei einer Serie (FI-BSH PUR) wurden keine Delaminierungen festgestellt. Jeweils vier Proben der fünf Serien (FI-BSH EPI, FI-BSH ULEF und FI-Fenster ULEF, LA-Fenster ULEF und Meranti-Fenster ULEF) hatten keine Delaminierung. Die Delaminierung der Probe 3 der Verklebung des Meranti-Holzes war besonders groß. Aufgrund der Materialkombination bzw. der Probenvorbereitung, wie bereits im Punkt 3.3.3.2 angeführt, kann diese große Decklagenabhebung an einer Probe begründet werden.

### 3.3.4 Beurteilung der Klebung mit PVAc-Dispersionsklebstoff

#### 3.3.4.1 Abhebefestigkeit

In Abbildung 40 bis Abbildung 42 sind die Bruchbilder von mit PVAc-Dispersionsklebstoff verklebten Mehrschichtprodukten mit Altholz-Mittellage aus Kantholz und Brettschichtholz dargestellt. Abbildung 43 zeigt die Bruchbilder der Referenzproben.

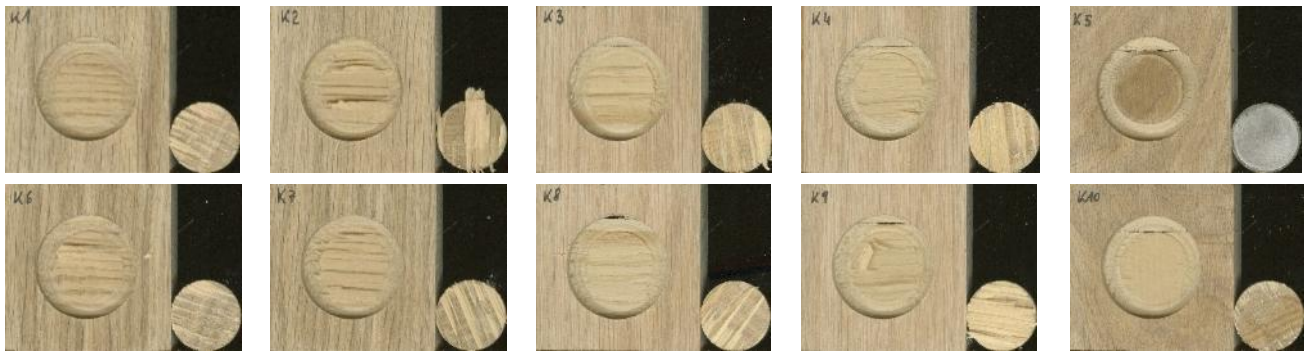


Abbildung 40: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Kantholz (Fichte) und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-Kantholz)

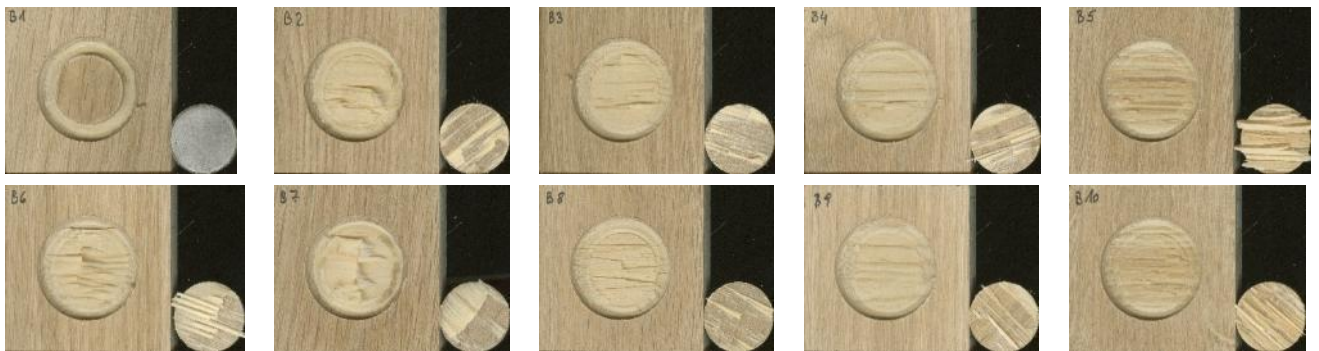


Abbildung 41: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit den Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-BSH PRF)

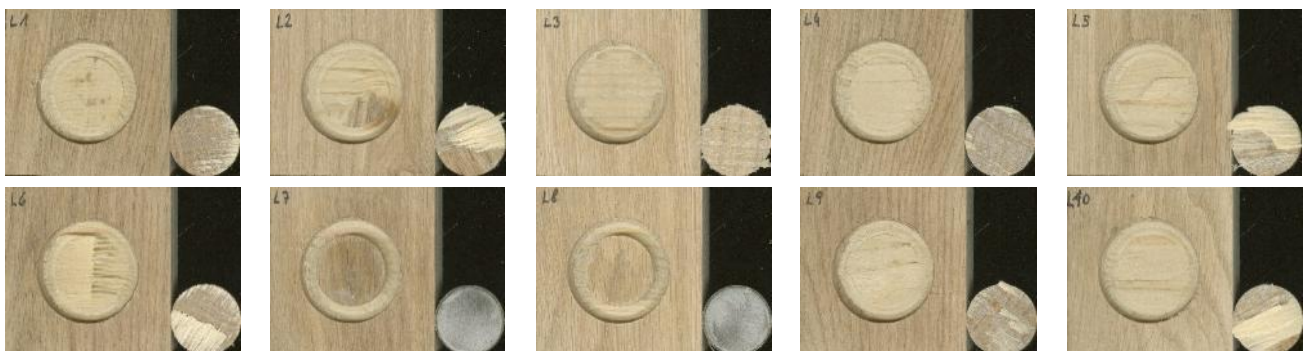


Abbildung 42: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit einer Mittellage aus Brettschichtholz (Fichte) und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-BSH UF)

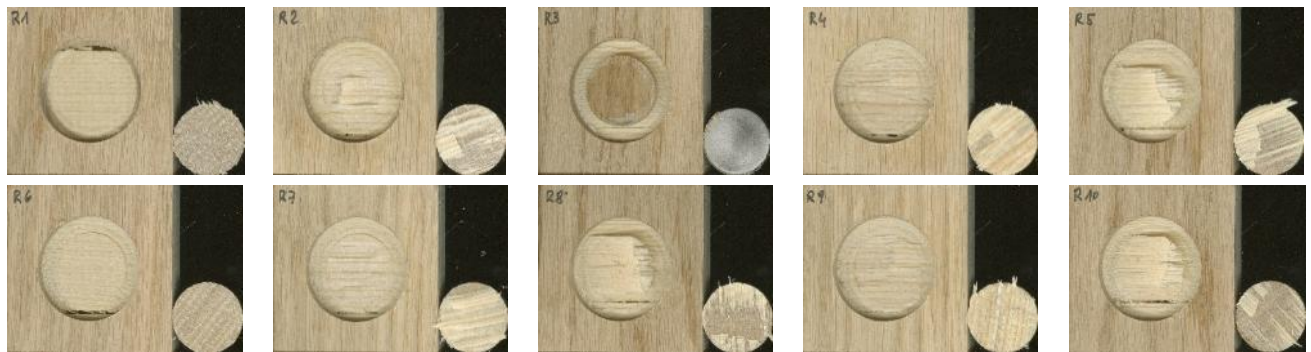


Abbildung 43: Abhebe-Bruchbilder von den Referenzproben mit einer Mittellage in Fichte und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-Referenz)

Mit dem PVAc-Dispersionsklebstoff konnte unabhängig vom eingesetzten Mittellagenholz ein Mittelwert der Probenverklebung zwischen 2,6 bis 3,3 N/mm<sup>2</sup> ermittelt werden (Abbildung 44).

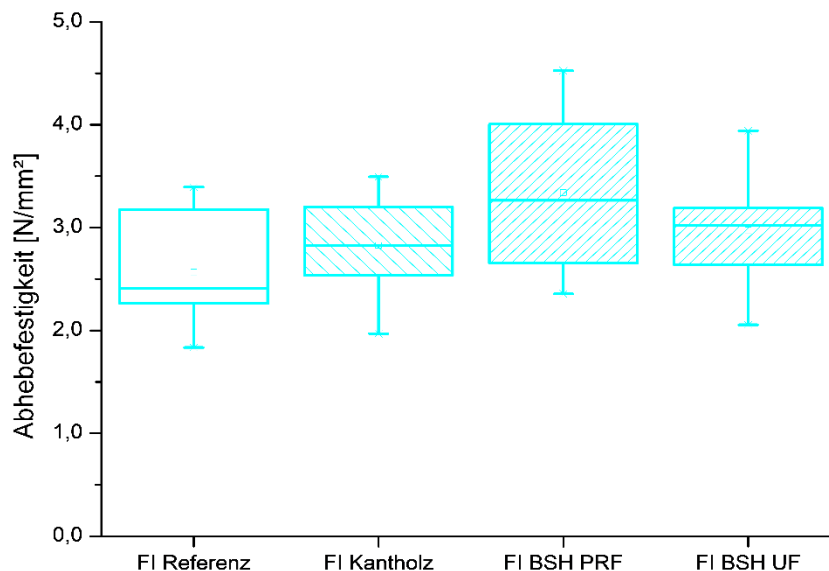


Abbildung 44: Abhebefestigkeit der Proben mit PVAc-Klebstoff

Die Abhebefestigkeit von 1,0 N/mm<sup>2</sup> wurde von den Mehrschichtprodukten mit PVAc-Klebstoff und der Mittellagen aus altem Holz (FI-Kantholz, FI-BSH PRF und FI-BSH UF) überragend erfüllt und entsprachen dem Ergebnis der Referenzproben.

Der Holzbruchanteil in der Mittellage war beim Mehrschichtprodukt mit Mittellagenstäben aus Kantholz (FI-Kantholz) mit 65 % mit dem Referenzprodukt mit den Mittellagenstäben in Fichte (FI Referenz) gleich. Bei den Produkten mit den Mittellagen aus Brettschichtholz (FI-BSH PRF und FI-BSH UF) lag der mittlere Holzbruchanteil in der Mittellage bei 38 bzw. 52 %.

Das eingesetzte Holz aus einer vorangegangenen Nutzung in der Mittellage zeigte beim Bruchverhalten bei den Untersuchungen zur Ermittlung der Festigkeit gegenüber frischem Holz kein abweichendes Verhalten.

### 3.3.4.2 Alterungsbehandlung durch Ofentrocknung

Die Verklebungen an den Proben zeigten nach 100 Stunden Lagerung bei 60 °C mit einer Ausnahme von einer Probe an einem Querschnitt keine Delaminierungen (Tabelle 6). Die Abbildung 45 zeigt die Querschnitte B der Serie FI-Kantholz, wo die Delaminierung der Probe 4 mit einem Pfeil markiert ist.

Tabelle 6: Delaminierungen von PVAc-Klebungen nach 100 Stunden Lagerung bei 60 °C

Probe	Querschnitt A		Querschnitt B	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Mittellage aus Kantholz mit PVAc-Klebung (FI-Kantholz)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	3,2	1,8
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PVAc-Klebung (FI-BSH PRF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PVAc-Klebung (FI-BSH UF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0

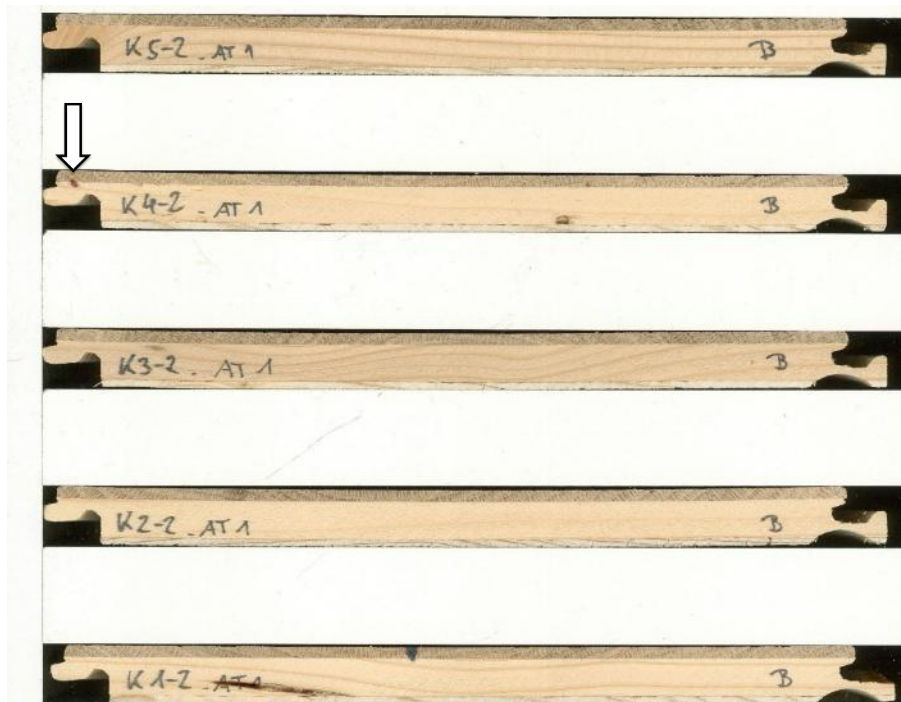


Abbildung 45: Querschnitt B der Serie FI-Kantholz nach 100 Stunden bei 60 °C, Delaminierung der Probe 4

Wie bereits im Punkt 3.3.3.2 angeführt beträgt normativ (ÖNORM EN 13489, 2023) die Grenze für den Mittelwert der Deckschicht-Delaminierung nach der Alterungsbehandlung Ofentrocknung  $\leq 1\%$  und für Einzelwerte  $\leq 5\%$ . Bei zwei Serien (FI-BSH PRF und FI-BSH UF) wurden keine Delaminierungen festgestellt und erfüllten die Anforderung. Bei der dritten Serie (FI-Kantholz) wurde die Anforderung an die Werte erfüllt.

### 3.3.4.3 Alterungsbehandlung durch Feuchtklimalagerung und Rücktrocknung

Die Verklebungen an den Proben zeigten nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte an zwei Proben (FI-Kantholz und FI-BSH UF) jeweils an einem Querschnitt eine Delaminierung (Tabelle 7). Die Abbildung 46 zeigt die Querschnitte B der Serie FI-Kantholz, wo die Delaminierung der Probe 4 mit einem Pfeil markiert ist.

Tabelle 7: Delaminierungen von PVAc-Klebung nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte

Probe	Querschnitt A		Querschnitt B	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Mittellage aus Kantholz mit PVAc-Klebung (FI-Kantholz)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	7,6	4,3
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PVAc-Klebung (FI-BSH PRF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PVAc-Klebung (FI-BSH UF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1,8	1,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0

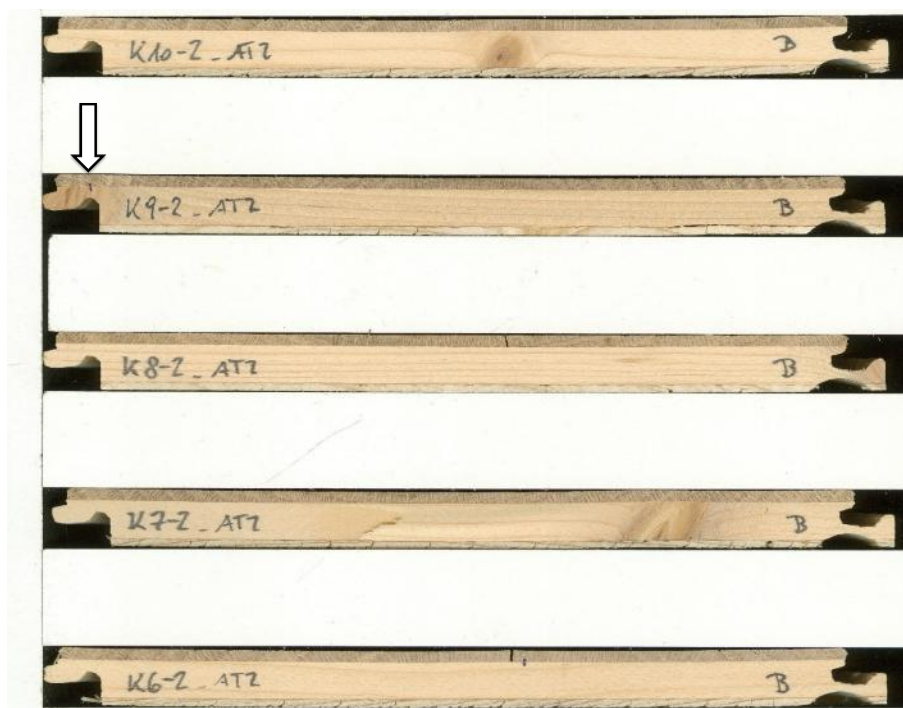


Abbildung 46: Querschnitt B der Serie FI-Kantholz nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte, Delaminierung der Probe 4

Die Feuchtklimabehandlung ist vorrangig ein Verfahren zur Beurteilung von Mehrschichtparkett, bei dem für die Decklagenverklebung PVAc-Klebstoff verwendet wurde.

Bei der Serie FI-BSH PRF wurden an keiner Probe Delaminierungen festgestellt. Jeweils vier Probe der zwei Serien FI-Kantholz und FI-BSH UF hatten keine Delaminierung. Die Delaminierungen wurden jeweils an einer Probe der Serien FI-Kantholz und FI-BSH UF an einem Querschnitt mit einem geringen Wert festgestellt.

#### 3.3.4.4 Alterungsbehandlung durch Wasserlagerung und Rücktrocknung

Die Verklebungen an den Proben zeigten nach 6 Stunden Wasserlagerung an sechs Proben, eine davon an beiden Querschnitten eine Delaminierung (Tabelle 8). Die Abbildung 47 zeigt die Querschnitte B der Serie FI-BSH PRF. Die Delaminierungen sind mit Pfeilen markiert.

Tabelle 8: Delaminierungen von PVAc-Klebung nach 6 Stunden Wasserlagerung

Probe	Querschnitt A		Querschnitt B	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Mittellage aus Kantholz mit PVAc-Klebung (FI-Kantholz)				
1	15,8	9,0	2,4	1,4
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	4,2	2,4	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PVAc-Klebung (FI-BSH PRF)				
1	0,0	0,0	5,2	3,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	13,1	7,4

4	0,0	0,0	13,2	7,9
5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittellage aus Brettschichtholz mit PVAc-Klebung (FI-BSH UF)				
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	4,7	2,7
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0

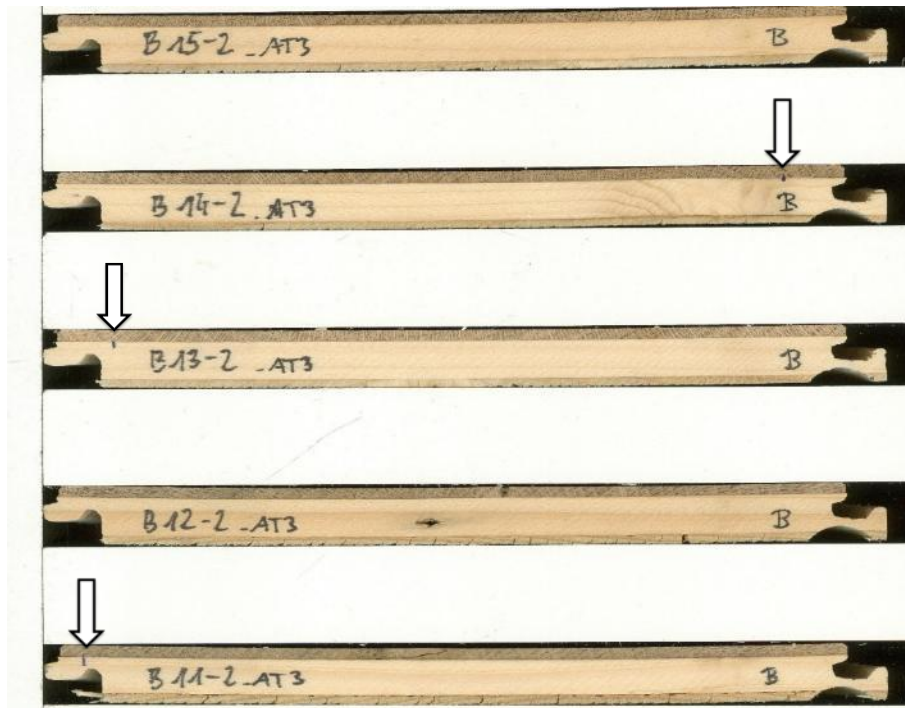


Abbildung 47: Querschnitt B der Serie FI-BSH PRF nach 6 Stunden Wasserlagerung, Delaminierung der Probe 1, 3 und 4

Als Verfahren zur Ermittlung des Verhaltens von PVAc-Klebstoffen ist die sechsstündige Wasserlagerung, die für den Gebrauch von verklebten Holzmaterialien im Innenbereich üblicherweise nicht erfolgt, nicht vorgesehen. Im Zuge des Projektes wurde die Lagerungsfolge herangezogen, um eine maximale Belastung und deren Auswirkungen, sowie zur Identifikation von möglichen Verklebungsversagen zu ermitteln.

Nur an einer Probe der Serie FI-Kantholz wurden Delaminierungen an beiden Querschnitten festgestellt. Hervorzuheben ist das Ergebnis der Serie FI-BSH UF, wo nur an einer Probe eine geringe Delaminierung an einem Querschnitt stattgefunden hat. Ob das Ergebnis der Proben FI-BSH UF mit der Art der Mittellage, aus Brettschichtholz über die gesamte Höhe des Brettschichtholzes geschnitten, im Zusammenhang steht, kann hier nicht beantwortet werden.

## **3.4 Schlussfolgerung**

### **3.4.1 Verwendbarkeit von abgebauten Holzfußböden**

Holzfußböden und Parkett können unter den Voraussetzungen, dass der Fußbodenbelag nicht mit dem Untergrund verklebt war, dieser in Form von ganzen Elementen entnommen werden kann und durch Aufbereitung, wie Format- und Profilierung, sowie Oberflächenbearbeitung und -behandlung, wieder als Fußbodenbelag verlegt und genutzt werden.

### **3.4.2 Altholz-Oberflächen**

Die mikroskopischen Untersuchungen an Altholz haben gezeigt, dass durch die Umgebungsparametern, wie Klimaschwankungen und Feuchteeintrag im Zuge der ursprünglichen Produktnutzung oberflächliche mechanische Schädigungen und Pilzbefall erfolgen können.

Die Farbe von Holz ändert sich in Abhängigkeit der Holzart und der Expositionsdauer und unterscheidet sich wesentlich zum Farbspektrum der Holzart im frisch aufgeschnittenen Zustand. Aufgrund der rötlichbraunen Farbe von Altholz ist es für Wohn- und Objekteinrichtungen geschätzt. Altholz wird daher auch in eigens dafür spezialisierten Betrieben aufbereitet und vertrieben.

Die Ermittlung des Kontaktwinkel hat für die Nutzung von Altholz keinen relevanten Unterschied zu frischem Holz gezeigt.

Altholz erzeugt gegenüber frischem Holz eine geringere saure Suspension.

### **3.4.3 Verklebung von altem Holz mit Frischholz**

Die Herstellung von Mehrschichtproben erfolgte mit Altholz-Mittellage und Eichen-Frischholz-Decklage mit vier Klebstoffarten in unterschiedlichen Produktionslinien bei vorangegangenen Anlagenadaptierungen.

Bei der Ermittlung der Abhebefestigkeit wurde gegenüber den Referenzverklebungen kein Unterschied nachgewiesen. Die Bruchbilder entsprachen den typischen Erscheinungsformen für die eingesetzten Klebstoffe auf Holz.

Die Untersuchungen zur Delaminierung mit den drei durchgeführten Lagerungsfolgen wiesen gegenüber den Referenzverklebungen keinen Unterschied auf.

Die Verklebung mit den in der Fertigung eingesetzten Klebstoffsystemen von altem, bereits genutztem Holz mit frischem Holz weist keine wesentlichen Unterschiede zu einer herkömmlichen Holzverklebung auf.

### 3.4.4 Anforderungen für den Einsatz von altem Holz in neuen Produkten

Damit bereits genutztes Holz in der Herstellung von neuen Produkten eingesetzt werden kann, muss sichergestellt sein, dass keine Kontaminationen und Störstoffe vorhanden sind. Siehe hierzu den gesonderter Teilbericht „Kontaminationen und Schadstoffverteilung in gealterten Holzbauteilen“.

Durch die Versuche, Holz von alten Fenstern, gebrauchtem Kantholz und Brettschichtholz zu Mittellagenstäbe für Parkett einzusetzen, konnte gezeigt werden, dass in Abhängigkeit der Holzsortierung des Ausgangsmaterials, soweit keine Schädigung in der Nutzungsphase entstanden ist, bei Einbringen von Halbfabrikaten der Einsatz von gebrauchtem Holz in ein neues Produkt möglich ist.

Um eine systematische Verarbeitung von bereits verwendetem Holz in Produktionsbetrieben mit automatisierten Prozessen zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit einer Aufbereitung. Die Dimensionen von Abbruchmaterial ist sehr unterschiedlich und muss für die Einbringung in eine Produktionslinie im Vorfeld als ein einheitliches Halbfabrikat formatiert werden. In diesem Prozess ist die Holzqualität entsprechend dem Produkt zu sortieren. In diesem Vorfeld ist vor allem die geforderte Holzfeuchte einzustellen. Damit Holz für einen Anwendungsfall eingesetzt werden kann, muss der Feuchtebereich den Anforderungen entsprechen. Andernfalls kann es aufgrund von Maßänderungen durch das Quellen und Schwinden zu unerwünschten Erscheinungen, wie Verformungen und Rissen kommen.

## 4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Oberfläche des auf Estrich verklebten Parketts bei Entnahme (linkes Bild: im Wohnraum, rechtes Bild: unter dem Esstisch) .....	7
Abbildung 2: Oberfläche des lose verlegten Parketts bei Entnahme.....	7
Abbildung 3: Querschnitt eines Konstruktionsholzes aus dem 17. Jahrhundert mit Kennzeichnung des Probenzuschnittes.....	8
Abbildung 4: Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett als Beispiel für die Verwertung von Abbruchholz .....	9
Abbildung 5: Fenster für die Verarbeitung zu Mehrschichtparkett-Mittellagen (ausgenommen: Nr. 2 bzw. nicht in der Abbildung: Nr. 13).....	10
Abbildung 6: Zwei- (Nr. 2, 5) und einstielige (Nr. 6, 9) Kantholzquerschnitte für die Verarbeitung zu Mehrschichtparkett-Mittellagen.....	11
Abbildung 7: Brettschichtholz für die Verarbeitung zu Mehrschichtparkett-Mittellagen .....	11
Abbildung 8: Verklebung der Mittellagenstäbe mit Eichendecklagen in einer Etagenpresse.....	12
Abbildung 9: Abtragen des Fußbodenbelags (Mehrschichtparkett) mittels Stripper	14
Abbildung 10: Verwertbares Material (linkes und mittleres Bild) und der Holzabfall in Säcken (rechtes Bild) nach der Parkett-Entnahme .....	14
Abbildung 11: Partielle Schäden (Verfärbungen, offene Fugen und Ablösungen) an Mehrschichtparkett-Elementen.....	15
Abbildung 12: Für die weitere Bearbeitung vorbereitete Mehrschichtparkett-Elemente und -abschnitte.....	15
Abbildung 13: Oberfläche eines überarbeiteten Mehrschichtparkett-Elementes .....	16
Abbildung 14: Überarbeitete (linkes Bild) und neu verlegte Parkettdecken (rechtes Bild).....	16
Abbildung 15: REM-Aufnahmen des Altholz-Querschnittes im Grenzbereich (linkes Bild, Maßstab 1:50; rechtes Bild, Maßstab 1:600) .....	17
Abbildung 16: REM-Aufnahmen des Querschnittes des Altholzes (linkes und rechtes Bild, Maßstab 1:2000) .....	17
Abbildung 17: REM-Aufnahmen des Altholz-Längsschnittes mit Pilzhyphen (linkes und rechtes Bild, Maßstab 1:2000).....	17
Abbildung 18: radiale (linkes Bild) und tangentielle (rechtes Bild) Schnittrichtung von Altholz im Vergleich zu frischem Holz.....	18
Abbildung 19: Kontaktwinkel von Früh- und Spätholz von Altholz im Vergleich zu frischem Holz in Fichte .....	19
Abbildung 20: Zeitaufwand für die manuelle stoffliche Trennung von Altfenstern ...	20
Abbildung 21: Massen der Fraktionen von Altfenstern.....	21
Abbildung 22: Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett aus Altfenstern .....	21
Abbildung 23: Anzahl an Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett aus Altfenstern..	22

Abbildung 24: Relative Massenanteile der Fraktionen von Altfenstern ohne Vorsatzschale mit Ausweisung des nutzbaren Holzanteils .....	22
Abbildung 25: Mittellagenstäbe für Mehrschichtparkett aus Kantholzabschnitten....	23
Abbildung 26: Durch eine Kreissäge bearbeiteter Schrauben .....	24
Abbildung 27: Mittellagenstäbe aus Kantholz.....	24
Abbildung 28: Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz .....	25
Abbildung 29: Mittellage aus Brettschichtholz (Elementlänge ist die Brettschichtholz- Höhe) .....	25
Abbildung 30: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer EPI-Verklebung .....	26
Abbildung 31: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer PUR-Verklebung .....	26
Abbildung 32: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer ULEF-Verklebung.....	26
Abbildung 33: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Fenster (Fichte) und einer ULEF-Verklebung .....	27
Abbildung 34: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Fenster (Lärche) und einer ULEF-Verklebung .....	27
Abbildung 35: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Fenster (Meranti) und einer ULEF-Verklebung .....	27
Abbildung 36: Abhebefestigkeit der Proben mit den drei Klebstoffen auf Basis von EPI, PUR und ULEF .....	28
Abbildung 37: Querschnitt A der Serie FI-Fenster ULEF nach 100 Stunden bei 60 °C, Delaminierung der Probe 2 .....	30
Abbildung 38: Querschnitt B der Serie FI-BSH EPI nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte, Delaminierung der Probe 5 .....	32
Abbildung 39: Querschnitt A der Serie Meranti-Fenster ULEF nach 6 Stunden Wasserlagerung, Delaminierung der Probe 3 .....	33
Abbildung 40: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit Mittellagenstäbe aus Kantholz (Fichte) und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-Kantholz) .....	34
Abbildung 41: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit den Mittellagenstäbe aus Brettschichtholz (Fichte) und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-BSH PRF) .....	34
Abbildung 42: Abhebe-Bruchbilder von den Proben mit einer Mittellage aus Brettschichtholz (Fichte) und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-BSH UF) .....	34
Abbildung 43: Abhebe-Bruchbilder von den Referenzproben mit einer Mittellage in Fichte und einer PVAc-Verklebung (Serie FI-Referenz).....	35
Abbildung 44: Abhebefestigkeit der Proben mit PVAc-Klebstoff.....	35
Abbildung 45: Querschnitt B der Serie FI-Kantholz nach 100 Stunden bei 60 °C, Delaminierung der Probe 4 .....	37

Abbildung 46: Querschnitt B der Serie FI-Kantholz nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte, Delaminierung der Probe 4 ..... 38

Abbildung 47: Querschnitt B der Serie FI-BSH PRF nach 6 Stunden Wasserlagerung, Delaminierung der Probe 1, 3 und 4 ..... 39

## 5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fenster für die Herstellung von Mehrschichtparkett-Mittellagen ..... 10

Tabelle 2: Abmessungen und erzielte Stückzahl von Mittellagenstäben für Mehrschichtparkett ..... 23

Tabelle 3: Delaminierungen von Klebungen nach 100 Stunden Lagerung bei 60 °C ..... 29

Tabelle 4: Delaminierungen von Klebungen nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte ..... 31

Tabelle 5: Delaminierungen von Klebungen nach 6 Stunden Wasserlagerung ..... 32

Tabelle 6: Delaminierungen von PVAc-Klebungen nach 100 Stunden Lagerung bei 60 °C ..... 36

Tabelle 7: Delaminierungen von PVAc-Klebungen nach 72 Stunden Lagerung bei 95 % relative Luftfeuchte ..... 37

Tabelle 8: Delaminierungen von PVAc-Klebungen nach 6 Stunden Wasserlagerung ..... 38