

Tannenholz –

Ermittlung von Richtlinien für die erste und zweite
Verarbeitungsstufe zur Vermeidung von Schäden an
Holzbauteilen

Forschungsbericht: 01.0101 .PZ I 2018.16

Bericht Nr.	62FE-009631-R-01-PB-01
Auftrag Nr.	R.009631-10-63FE-01
Klassifizierung	
Datum	27.11.2020
Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Wald Sektion Holzwirtschaft & Waldwirtschaft Worblentalstrasse 68 3063 Ittigen
Adresse der Forschungsstelle	Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau Institut für Kompetenzbereich www.ahb.bfh.ch
Verfasser	Marcel Schnyder, Thomas Volkmer
Projektverantwortlicher	Thomas Volkmer
Institutsleitung	Frédéric Pichelin

Berner Fachhochschule
Institut für Werkstoffe und Holztechnologie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1 Zielsetzungen	4
2. Projektbeteiligte	5
3. Ausgangslage	5
3.1 Rahmenbedingungen des Projekts	5
3.2 Ausgewählte Aspekte zum Stand des Wissens	6
3.3 Betriebsbesuche	7
4. Material und Methoden	8
4.1 Aufnahme von flüssigem Wasser und Trocknung	9
4.2 Wasserdampfdiffusion	9
4.3 Mikroskopische Untersuchungen	10
4.4 Sorptionseigenschaften	10
4.5 Beständigkeit Tannenblättling	11
5. Ergebnisse und Diskussion	12
5.1 Wasserdampfdiffusionswiderstand	12
5.1 Aufnahme von flüssigem Wasser und Abgabe des Wassers während der Trocknung	13
5.2 Mikroskopische Untersuchungen	14
5.3 Sorptionseigenschaften	17
5.4 Beständigkeit gegenüber dem Tannenblättling	18
6. Ergänzende Untersuchungen	18
7. Überlegungen/Erfahrungen	19
8. Schlussfolgerungen	19
9. Bestimmungen zum vorliegenden Bericht	21
9.1 Umfang des Berichts	21
10. Verzeichnisse	22
10.1 Literaturverzeichnis	22
10.1 Abbildungsverzeichnis	22
Anhang A:	24
10.2 Wasserdampfdiffusionswiderstand	24
10.3 Aufnahme von flüssigem Wasser und Abgabe des Wassers während der Trocknung	25
10.4 Mikroskopische Untersuchungen	26
10.5 Sorptionseigenschaften	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.6 Beständigkeit gegenüber dem Tannenblättling	28

1. Einleitung

Die Weisstanne (*Abies alba*) eignet sich hervorragend für den Holzbau und ist prädestiniert für ästhetisch anspruchsvolle Bauteile, wie z.B. Fassaden. Sie hat im Vergleich zur Fichte deutlich weniger Äste und kein Harz. Im Gegensatz dazu sind in der jüngeren Vergangenheit vermehrt Schadensfälle aufgetreten, bei denen Tanne durch den Tannenblättling befallen wurde.

Vor diesem Hintergrund sollen verschiedene Tannensortimente der in diesem Projekt beteiligten Hobelwerke hinsichtlich des Nasskerns und Rotstreifigkeit in seinen Auswirkungen auf die Produktqualität und speziell die biologische Beständigkeit untersucht werden. Über die Beantwortung der Frage: „In welcher Form sind diverse Tannensortimente mit ggf. qualitätsmindernden Eigenschaften (Nasskern, Rotstreifigkeit) sicher einsetzbar?“ sollen in diesem Zusammenhang Verarbeitungsrichtlinien definiert werden, welche eine maximale Lebensdauer der Bauteile gewährleisten und somit Schäden an Holzbauten vorbeugen.

Im vorliegenden Projekt sollen speziell die ersten beiden Verarbeitungsstufen ab dem Fällen untersucht werden: Lagerung, Einschnitt, Sortierung, und Trocknung.

1.1 Zielsetzungen

Zielsetzungen gemäss Antrag:

Das übergeordnete Ziel des Projektes ist der Ausbau und der Erhalt der hohen Akzeptanz des Werkstoffs Holz im Bauwesen. In diesem Sinne sollen, aufbauend auf den vorhandenen Erfahrungen und dem aktuellen Wissen, Verarbeitungsrichtlinien zum sicheren Einsatz von Tannenholz im Baubereich erstellt werden, um Schäden an Holzbauteilen zu vermeiden. Die Analyse und Bedeutung des Nasskerns in seinem Einfluss auf die Verarbeitung und Dauerhaftigkeit der Bauteile ist dabei die zentrale Fragestellung. Folgende konkrete Ziele können für das Teilprojekt 1 entsprechend dem vorliegenden Antrag abgeleitet werden:

Technische Ziele:

- Festlegung von Richtlinien für die Lagerung, den Transport und die Trocknung von Tannenholz (mit und ohne Nasskern oder Rotstreifigkeit), um einen Befall durch Blättlinge (insbesondere des Tannenblättlings) zu vermeiden/zu stoppen und einen Erhalt der Holzqualität zu sichern
- Festlegung von Sortierkriterien unter spezieller Berücksichtigung des Nasskerns und der Rotstreifigkeit, (Welche Nutzung ist möglich, sodass Bauschäden vermieden werden?)

Wirtschaftliche Ziele (unternehmerische Ziele)

- Anpassung des Einschnitts, um eine hohe Materialausbeute zu gewährleisten (Bis zu welchem Umfang muss Nasskern oder Rotstreifigkeit aus dem Schnittholz entfernt werden?).
- Gesicherte Qualität (Vermeidung von späteren Bauteilschäden) und Kostenoptimierung im Vergleich zum Einsatz von Fichte

Wissenschaftlichen Ziele

- Ermittlung eines möglichen Zusammenhangs zwischen einem Befall durch Blättlinge und dem Vorhandensein eines Nasskerns und/oder Rotstreifigkeit
- Ermittlung des Sorptionsverhaltens (Auffeuchten und Trocknen) von Tannenholz (mit Nasskern und Rotstreifigkeit) in Bezug auf die biologische Beständigkeit
- Beschreibung der biologischen Beständigkeit von Tannenholz (mit Nasskern und/oder Rotstreifigkeit) und der Abbaugeschwindigkeit durch den Tannenblättling
- Risikobewertung bzgl. eines Befalls durch Blättlinge bei Sortimenten, welche während der Verarbeitung durch Schichtpilze befallen waren (kann durch die industrielle Trocknung der Befall durch Schichtpilze gestoppt werden?)

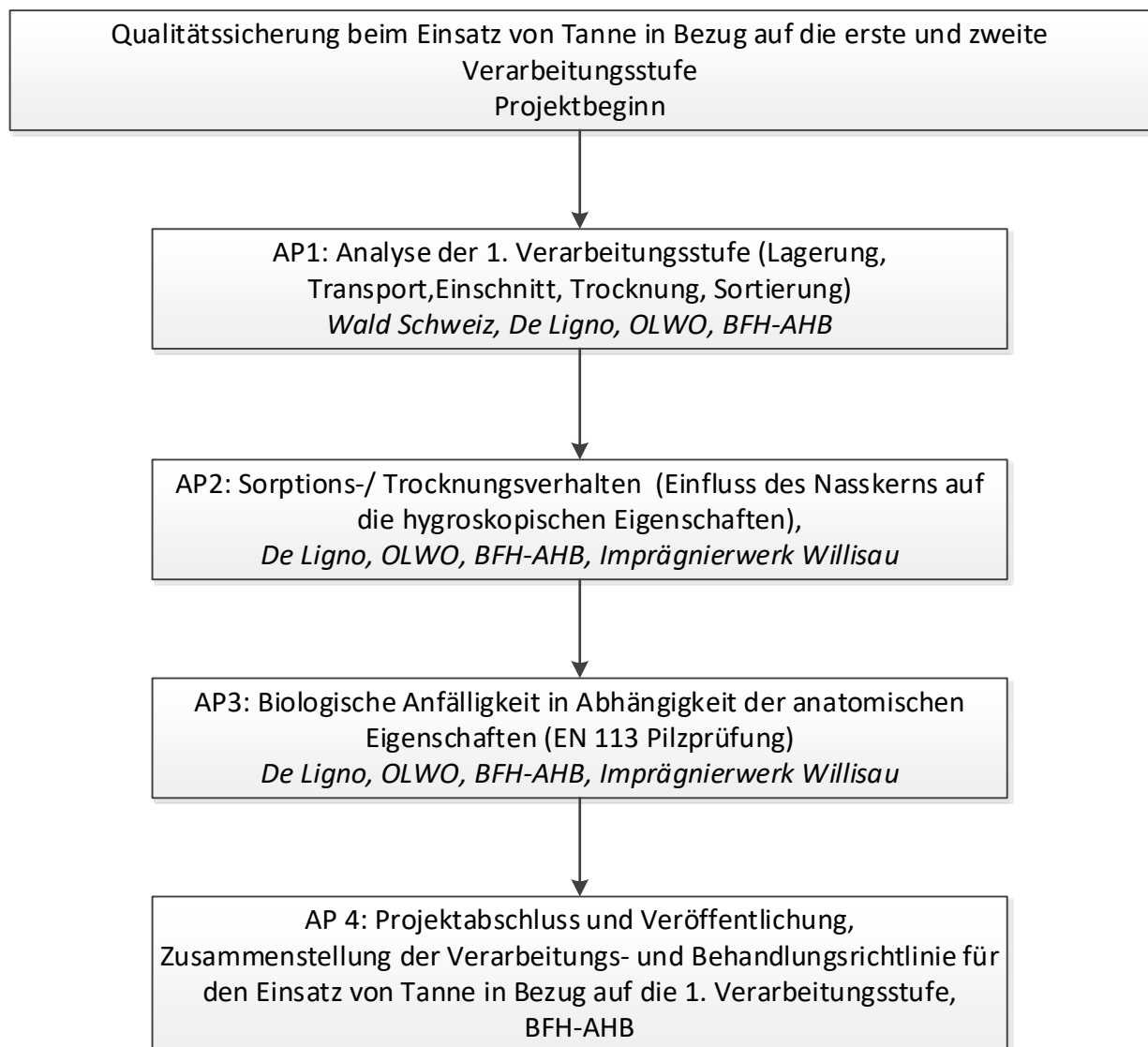


Abb. 1: Projektstruktur mit den zu bearbeitenden Bereichen

2. Projektbeteiligte

De Ligno AG
Bahnhofstrasse 6
3436 Zollbrück
Ansprechpartner:
Walter Horisberger

OLWO AG
Bollstrasse 68
3076 Worb
Ansprechpartner:
Markus Läderach

Imprägnierwerk AG Willisau
Ostergauerstrasse 10
CH-6130 Willisau
Ansprechpartner:
Guido Thalmann

Wald Schweiz
Rosenweg 14
4502 Solothurn

3. Ausgangslage

3.1 Rahmenbedingungen des Projekts

Die Verarbeitung von Tannenholz im Rahmen der ersten und zweiten Verarbeitungsstufe wurde in Zusammenarbeit mit zwei Sägereibetrieben aus dem Mittelland und Emmental, welche in grösserem Umfang entsprechende Sortimente herstellen, genau analysiert. Im Rahmen von mehreren Betriebsbesuchen wurde abgeklärt, welche möglichen Ursachen für Fäulnis bei Endprodukten

(Fassadenschalung) auf die Lagerung, Sortierung und Verarbeitung während dieser Phase in Frage kommen könnten.

Der vorliegende Bericht bietet einen Überblick über alle durchgeführten Untersuchungen und Prüfungen. Um den Befall durch den Tannenblättling mit Massnahmen innerhalb der ersten zwei Verarbeitungsstufen allenfalls reduzieren oder gar verhindern zu können wurden zuerst vier Ausprägungen, nachfolgend im Bericht als Varianten erwähnt, definiert (siehe Abb. 5).

3.2 Ausgewählte Aspekte zum Stand des Wissens

In der Literatur findet man lediglich bei der Rotstreifigkeit Hinweise auf eine höhere Anfälligkeit bzw. einen schnelleren Holzabbau durch Fäuleerreger wie beispielsweise den Tannenblättling. Pechmann et al. hatte im Rahmen von Untersuchungen zur Rotstreifigkeit auch die Anfälligkeit von betroffenem Holz gegenüber verschiedenen, an Gebäuden relevanten, Holzzerstörern untersucht. So erwies sich rotstreifiges Holz gegenüber braunem Kellerschwamm, Hausschwamm und Tannenblättling als weniger widerstandsfähig als normales Holz. Bei einem Befall mit Schichtpilzen (z.B. dem blutenden Nadelholz Schichtpilz), zeigt das betroffene Holz eine leichte bis intensive rötliche Färbung. Die Schichtpilze besiedeln die Stämme nach dem Fällen direkt im Wald oder allenfalls bei ungünstiger Lagerung auf dem Rundholzplatz. Die ersten Verfärbungen durch den blutenden Schichtpilz können bereits 8 Tage nach einer Infektion auftreten (Kleist/Seehann,1997). Laut Aussagen von Deligno tritt Rotstreifigkeit vermehrt in wärmeren Jahren auf und bei längerer Lagerdauer auf dem Rundholzplatz. Bei beiden Betrieben wird ausschliesslich Tannenrundholz aus Winterfällung bezogen, wodurch sich das Befallsrisiko deutlich reduzieren lässt. Gemäss Kleist kann man davon ausgehen, dass die Ausbreitung des Pilzes weitestgehend mit dem Auftreten einer sichtbaren Verfärbung des Holzes einhergeht. Die Schichtpilze gelten zwar auch als Holzzerstörer, sind aber in der uns vorliegenden Situation nicht als solche von Bedeutung. Sie bräuchten wesentlich mehr Zeit und entsprechende Umgebungsbedingungen, um das Holz z.B. bezüglich der mechanischen Eigenschaften zu schwächen. Trotzdem bleibt die Frage zu klären, inwiefern rotstreifiges Tannenholz attraktiver sein könnte für eine Besiedelung durch Holzzerstörer.

Das bei der Weissstanne bekannte Phänomen des Nasskerns bezeichnet die Gegebenheit, dass im sonst eher trockeneren Kernbereich ein wesentlich höherer Wassergehalt (bis 220%) vorliegt. Der normale Nasskern breitet sich von Trockenästen des unteren Stammbereichs stammabwärts aus. Er zeigt eine kreisrunde Ausbildung im Stammquerschnitt und ist auf den Kern beschränkt. Das Holz zeigt oftmals eine (leicht) bräunliche Färbung, die nach der Trocknung an Intensität verliert (siehe auch Abb. 5). Er gilt am weder am stehenden Baum noch beim eingeschnittenen Holz als Makel.

Der pathologische Nasskern, welcher auf Wurzelverletzungen zurückgeführt wird und sich mehr auf den unteren Stammabschnitt beschränkt, gilt als qualitativer Mangel und wird entsprechend aussortiert. Er ist in der Regel auch gut anhand des starken unangenehmen Geruchs erkennbar, welcher durch das Vorhandensein von Essig-, Propion- und Buttersäure hervorgerufen wird. Er zeigt keine saubere kreisrunde Form im Stammquerschnitt und erstreckt sich über das Kernholz in den Splintbereich hinein. Beim pathologischen Nasskern ist nicht bekannt, ob dieser im Hinblick auf die biologische Anfälligkeit einen Einfluss hat.

Für eine Besiedelung des Holzes sind die holzzerstörenden Pilze auf günstige Rahmenbedingungen angewiesen. Die zentralen physikalischen Einflussparameter sind Feuchtigkeit und Temperatur (im Substrat Holz). Diese beiden Grössen wiederum sind unter anderem abhängig vom Überbauungsanteil, der Topografie und der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung. An einer Fassade beispielsweise sind Parameter von Bedeutung wie die Ausrichtung des Bauteils und damit verbunden die Sonnenexposition, die Exponierung bezüglich Niederschlags, auch abhängig von der Gebäudehöhe, den Dimensionen des Bauteils und dessen Oberflächenbeschichtung, die konstruktive Einbausituation u.v.m. Das Zusammenspiel von äusseren Faktoren und der Eigenschaften des Substrats resultieren in einem Mikroklima im Bauteil und ist entscheidend für die Besiedelung und das Wachstum eines holzzerstörenden Organismus. Laut Sell (1988) ist bei Tanne die kapillare Saugfähigkeit höher als bei Fichte, auch wenn diese bei der Tanne stark streut. Bei den Untersuchungen konnte kein Hinweis gefunden werden, dass Holz mit Nasskern mehr Wasser aufnimmt als Holz mit normalem Kern.

Der Tannenblättling ist sehr flexibel, was Temperatur und Feuchte angeht. Das optimale Feuchtespektrum (Materialfeuchte) liegt gemäss Huckfeldt zwischen 36.4 % und 210 %, mindestens aber bei 22 %. Für die Temperatur liegt das Optimum im Bereich von 25 bis 30 °C, wobei auch zwischen 0 bis 42.5 °C noch ein Holzabbau stattfinden kann.

3.3 Betriebsbesuche

Allgemein kann gesagt werden, dass ein wesentlicher Anteil des Tannenrundholzes einen Nasskern aufweist (Abb. 2). Dabei kann in den meisten Fällen in einen normalen (Abb. 3) oder pathologischen Nasskern (Abb. 4) unterschieden werden.

Das Schadensaufkommen bei den Endprodukten (Fassadenschalung) der beiden Partnerbetriebe ist unterschiedlich, obwohl das Rohholz aus denselben Gebieten stammt. Die Einschlagzeiten liegen für beide Betriebe ausschließlich in den Wintermonaten. Es ist davon auszugehen, dass die Lagerzeiten und der Abtransport aus dem Wald ähnlich sind. Unterschiede zeigten sich vor allem bei der Lagerungsdauer auf dem Holzplatz und dem Einschnittmuster. Bei einem späten Einschnitt im Frühsommer (was entsprechend langen Lagerzeiten auf dem Rundholzplatz entspricht) ab Juni ist mit erhöhter Rotstreifigkeit (Befall durch Schichtpilze) zu rechnen, was speziell bei heissen Sommermonaten zu beobachten ist. Allerdings kann durch eine entsprechend angepasste Lagerung (Nasslagerung) die Lagerdauer verlängert und gleichzeitig das Risiko für Pilz und Insektenbefall verringert werden. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen aus der Literaturrecherche. Teilweise konnte dort bei verschiedenen Untersuchungen nachgewiesen werden, dass das Holz bereits nach 4 Wochen Lagerzeit von verschiedenen Schichtpilzen besiedelt wird. Ein Befall durch den Tannenblättling während der Lagerzeit konnte jedoch nie festgestellt werden.

Beim frisch eingeschnittenen Holz variieren die Materialfeuchten deutlich. Werden Nasskernsortimente mit erhöhtem Wassergehalt zusammen mit anderen Sortimenten direkt technisch getrocknet, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von sogenannten Feuchtenestern, lokal begrenzten Stellen mit wesentlich höherer Feuchte. In beiden Betrieben werden die Sortimente nach dem Einschnitt und vor der technischen Trocknung freiluft-vorgetrocknet, was das Risiko von feuchteren Stellen stark verringert.

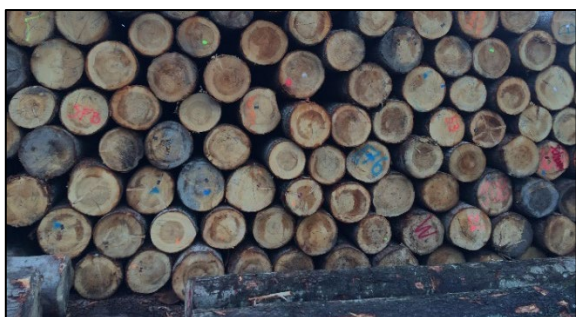


Abb. 2: Frisch eingeschlagenes Tannenrundholz
(Rundholzplatz Deligno März 2019)



Abb. 3: Tannenrundholz mit gut sichtbarem, normalem Nasskern; er verläuft grösstenteils entlang der entsprechenden Jahrringgrenze.



Abb. 4: Tannenrundholz mit gut sichtbarem, pathologischem Nasskern. Der Nasskern ist ungleichmässig über den Stammquerschnitt verteilt.

4. Material und Methoden



Abb. 5: Im Bericht berücksichtigte Varianten der Weisstanne (*abies alba*): von links Tanne normal, Tanne rotstreifig, Tanne mit normalem Nasskern, Tanne mit pathologischem Nasskern

Als erste Ausprägung wurde die „normale“ Weisstanne gewählt; ein Sortiment, welches keiner der anderen Varianten zugeordnet werden kann. Eine weitere Variante, die in Bezug auf den unterschiedlichen Feuchtehaushalt von Bedeutung sein könnte, ist der normale Nasskern. Dieser tritt bei der Tanne häufig auf und er gilt weder im stehenden Baum noch nachher beim eingeschnittenen Holz als „Makel“. Eine besondere Ausprägung, die allerdings auch wesentlich seltener auftritt, ist der pathologische Nasskern. Der Name weist bereits darauf hin, dass dieser zu einer Beeinträchtigung des stehenden Baumes führt.

Die verschiedenen Holzsortimente mit den zu untersuchenden Ausprägungen der Weisstanne wurden durch die beiden Projektpartner Deligno und Olwo zur Verfügung gestellt. Das rotstreifige Holz wurde im Winter 2017/2018 eingeschlagen, der Einschlag für die restlichen Varianten erfolgte im Winter 2018/2019.

Die Variante «Nasskern normal» weist Kernholz mit einem eher warm bräunlichen Farbton auf. Der «pathologische Nasskern» hat im hier vorliegenden Fall eine eher braun- graue Farbe und wies beim Auftrennen und Hobeln einen penetrant unangenehmen Geruch auf, welcher für diese Variante charakteristisch ist. Das «rotstreifige» Tannenholz zeigt unregelmässig verteilt rötliche Flecken. Die Variante «Tanne normal» weist keine der zuvor genannten Ausprägungen auf.

4.1 Aufnahme von flüssigem Wasser und Trocknung

In Anlehnung an EN 927-5 Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 5: Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit. Die Norm dient zur Beurteilung der Durchlässigkeit von Beschichtungen gegenüber flüssigem Wasser. Es ergibt sich ein Wert zur Charakterisierung der Wasserdurchlässigkeit bei einer Messung nach 72 h. In dem hier vorliegenden Fall sollen mit Hilfe dieser Prüfungen allfällige Unterschiede der verschiedenen Varianten in Bezug auf die Aufnahme von flüssigem Wasser ermittelt werden. Da die im Wasser liegende Seite nicht beschichtet wurde, soll mit den Tests eine Materialeigenschaft des Holzes ermittelt werden.

Die Proben wiesen die Masse 150 x 70 x 20 mm auf. Die dem Wasser zugewandte Seite wurde mit Korn 120 geschliffen. Die hier untersuchten Proben sind also im Gegensatz zur Norm unbeschichtet, das Wasser dringt direkt in das Substrat ein, ohne dass dieser Vorgang durch eine zusätzliche Schicht gebremst wird. Die Schmalflächen sowie die Rückseite der Probenkörper wurden mit einer Beschichtung von geringer Permeabilität versiegelt. In der durchgeführten Prüfung wurden zusätzliche Messzeitpunkte berücksichtigt, um das Wasseraufnahmeverhalten auch in Abhängigkeit der Zeit veranschaulichen zu können. Messungen der Gewichtszunahme wurden nach 1, 4, 8, 24, 48 und 72 Stunden durchgeführt. Die Proben wurden hierfür aus dem Wasserbad entnommen, das anhaftende Wasser mit einem saugfähigen Schwamm entfernt und dann nach erfolgter Wägung wieder ins Wasserbad gelegt. Die Dauer, in der die Proben sich für die Wägungen ausserhalb des Wasserbades befanden, betrugen jeweils 7 min und wurden zeitlich bei der Versuchsdauer berücksichtigt. Der Versuch fand in einem klimatisierten Raum statt (20°C/65% rel. LF).



Abb. 6: Proben während der Trocknung nach der Wasserlagerung



Abb. 7: Probe Variante rotstreifig direkt nach Entnahme aus dem Wasserbad

Um zusätzliche Informationen zum Feuchtehaushalt der verschiedenen Varianten zu gewinnen wurde anschliessend an die Wasserlagerung das Abtrocknen der Proben im Normklima (20 °C/65 % rel.F.) aufgezeichnet.

4.2 Wasserdampfdiffusion

Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit wurde angelehnt an die Norm EN ISO 12572 (2016) durchgeführt. Die Holzproben wurden nach einer Klimatisierung (23 °C/50 % rel. LF) auf einen Durchmesser von 140 mm gefräst. Bei der Variante rotstreifig wurden zwei Lamellen verleimt, um die notwendige Mindestbreite von 140 mm zu erreichen. Die Lamellen wurden so verklebt, dass die Klebefuge mittig in der Probe lag. Die Holzrondellen wurden auf den Glasgefässen platziert und mit einer Gummimanschette so fixiert, dass der obere Rand der Manschette ca. 3 mm unterhalb der oberen Kante des Holzes positioniert war. Die Manschette wurde dann noch mit einem Aluminiumklebeband an der freiliegenden Holzkante fixiert. Die Glasschalen für die wet-Cup-Variante wurden mit demineralisiertem Wasser, die der dry-cup Variante mit Silicagel befüllt. Insbesondere die Scheiben auf den Gläsern mit dem feuchten Klima (wet-cup) haben sich anfangs stark verformt, so dass diese nach einem Tag nochmals abgeklebt wurden, um die Dichtigkeit zu gewährleisten.

Zur Variantenausprägung ist hier noch zu erwähnen, dass die Unterscheidungsmerkmale abhängig von der Probengrösse nur einen gewissen Anteil der Probenfläche ausgemacht haben. Also beispielsweise

die Ausprägung rotstreifig: es waren maximal ca. 50 % der untersuchten Probenfläche direkt von einer Rotstreifigkeit betroffen, wodurch natürlich die gemessenen Werte für die Diffusion lediglich eine Mischung zwischen normalem Holz und rotstreifigem Holz darstellen. Genauso für die anderen Varianten.

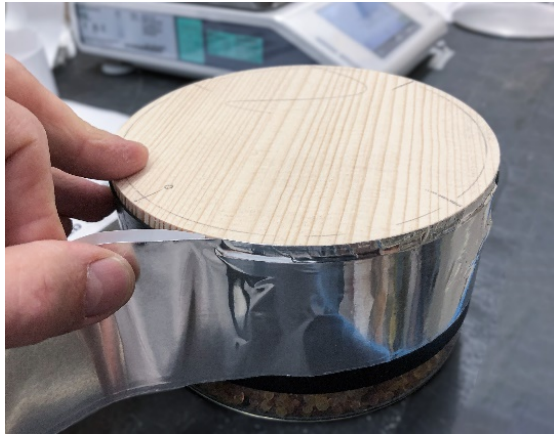


Abb. 8: Prüfkörper auf Glas mit Gummimanschette und zusätzlicher Abklebung mit Alutape

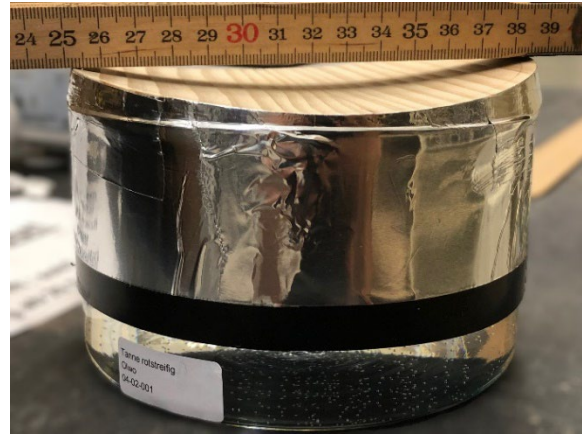


Abb. 9: Stark verformter Prüfkörper bei der wet-cup Variante nach erneuter Abklebung

4.3 Mikroskopische Untersuchungen

Zusätzlich zu den physikalischen Untersuchungen wurden die verschiedenen Sortimente auch mikroskopisch analysiert. Das Ziel bestand dabei darin herauszufinden, ob ein bestehender Nasskern oder Rotstreifigkeit bereits zu Schäden bzw. Modifikationen im Holz geführt haben und ob diese von normalen Sortimenten deutlich zu unterscheiden sind.

Nach der Entnahme kleiner Holzwürfel aus der entsprechenden Ausprägung wurden die Würfel über eine Dauer von 3 h bei 110 °C in einem Autoklav gekocht. Im Anschluss wurden die Proben mit dem Mikrotom geschnitten, um eine saubere Fläche zu erhalten. Nach der Trocknung im Exsikkator wurden die Proben im Sputter Coater beschichtet. Die mikroskopischen Untersuchungen fanden für die besputterten Proben mit einem REM Hitachi TM3030 statt.

4.4 Sorptionseigenschaften

Die Tests wurden in einem Klima mit konstanter Temperatur von 20 °C und einer wechselnden relativen Luftfeuchte 90/30 % durchgeführt. Die Prüfkörperabmessungen bei Normklima (20 °C/65 % rF) betrugen 119 x 30 x 7 mm. Gewogen wurden Aluminiumschalen, die jeweils 5 Prüfkörper einer Variante enthielten. Es wurden jeweils die einzelnen Schalen gewogen, um eine möglichst kurze Verweildauer der Prüfkörper ausserhalb des geregelten Klimas zu erreichen. Für die Varianten Nasskern normal, Nasskern pathologisch und normal wurden jeweils 3 Schalen mit je 5 Prüfkörpern erfasst, für die Variante rotstreifig 2 Schalen mit je 5 Proben. Bei der Auswahl des Probenmaterials wurde vor allem Priorität auf den Volumenanteil der jeweiligen Ausprägung, z.B. Befall durch Schichtpilze (Rotsreifigkeit), gelegt.



Abb. 10: Schale mit Prüfkörpern Tanne normal

4.5 Beständigkeit Tannenblättling

Die Tests sind angelehnt an die Norm EN 113 Holzschutzmittel - Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten. Als Prüfpilz wurde Tannenblättling (*Gloeophyllum abietinum*) verwendet. Der vom Leibniz-Institut bezogene Pilzstamm erwies sich bei einer ersten Versuchsreihe und diversen Abklärungen als nicht mehr vital, d.h. er hat auch unter idealen Wachstumsbedingungen kein Holz abgebaut. Die Empa hat uns freundlicherweise einen vitalen Stamm zur Verfügung gestellt, mit welchem die Versuche erfolgreich durchgeführt werden konnten.

Die Versuche zur Beständigkeit wurden an Holzproben mit folgenden Dimensionen durchgeführt: Länge 50 mm, Breite 13 mm, Dicke 7 mm. Die Prüfkörper wurden so aus dem vorhandenen Holzsortiment geschnitten, dass die Ausprägungen der Holzvarianten möglichst deutlich ausfielen. Zusätzlich zu den Tanne-Varianten wurde auch eine Charge Fichte getestet. Für die Versuche wurden Petrischalen verwendet. Die Proben lagen auf Abstandhaltern aus Edelstahl draht mit einer Dicke von 1 mm. Das Nährstoffmedium wurde gemäss folgendem Rezept zubereitet: 40 g Malzextrakt, 25 g Agar in 1 Liter Leitungswasser. Die Nährstofflösung wurde in einem Erlenmeyer-Kolben auf einem beheizbaren Magnetrührer zubereitet und anschliessend im Autoklav bei 120 °C für 20 min sterilisiert. Anschliessend wurden die sterilen Petrischalen mit der Lösung befüllt. Nach Abkühlen der befüllten Petrischalen erfolgte die Beimpfung mit dem Tannenblättling. Die so beimpften Gefässe verblieben in einem Klimaschrank bei 27 °C und 70 % rel. LF bis die Oberfläche des in den Petrischalen befindlichen Nährmediums vollständig mit dem Pilz bewachsen war. Der Pilz hatte teilweise schon deutliche Dunkelfruchtkörper ausgebildet. Die Sterilisation der Holzproben erfolgte in einem Autoklav mit Wasserdampf bei 121 °C, für eine Dauer von 20 min. Unmittelbar nach der Sterilisation der Holzproben wurden diese in die vorbereiteten Petrischalen eingebracht. Während der Versuche verblieben die Proben in einem Klimaschrank bei 27 °C und 70 % rel. LF. Eine erste Probenahme erfolgte nach 5 Wochen, danach wöchentlich bis zur 12. Woche.

Nach Entnahme der Proben aus der Petrischale wurden die Proben mittels eines Spatels von der Pilzsubstanz befreit und unmittelbar danach gewogen. Nach der Trocknung im Darrschrank (bei 103 °C) wurden sie wiederum gewogen und die Darrmasse erfasst. Die Berechnung des durch den Pilz verursachten Abbaus wurde gemäss folgender Formel ermittelt:

$$e_1 = \frac{(m_0 - m_3)}{m_0}$$

m_0 : Darrmasse vor Versuchsbeginn

m_3 : Darrmasse nach Versuch

e_1 : Abbau relativ zu m_0

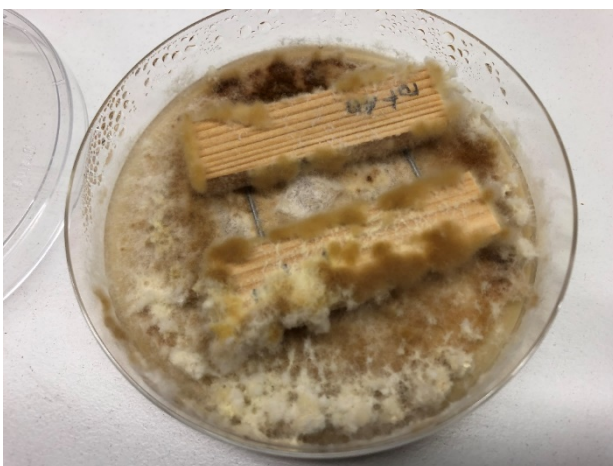


Abb. 11: Proben bewachsen mit Tannenblättling nach 5 Wochen mit deutlichem Bewuchs



Abb. 12: rotstreifige Probe mit teilweise entferntem Dunkelfruchtkörper ohne sichtbare Schädigung der Holzsubstanz

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Wasserdampfdiffusionswiderstand

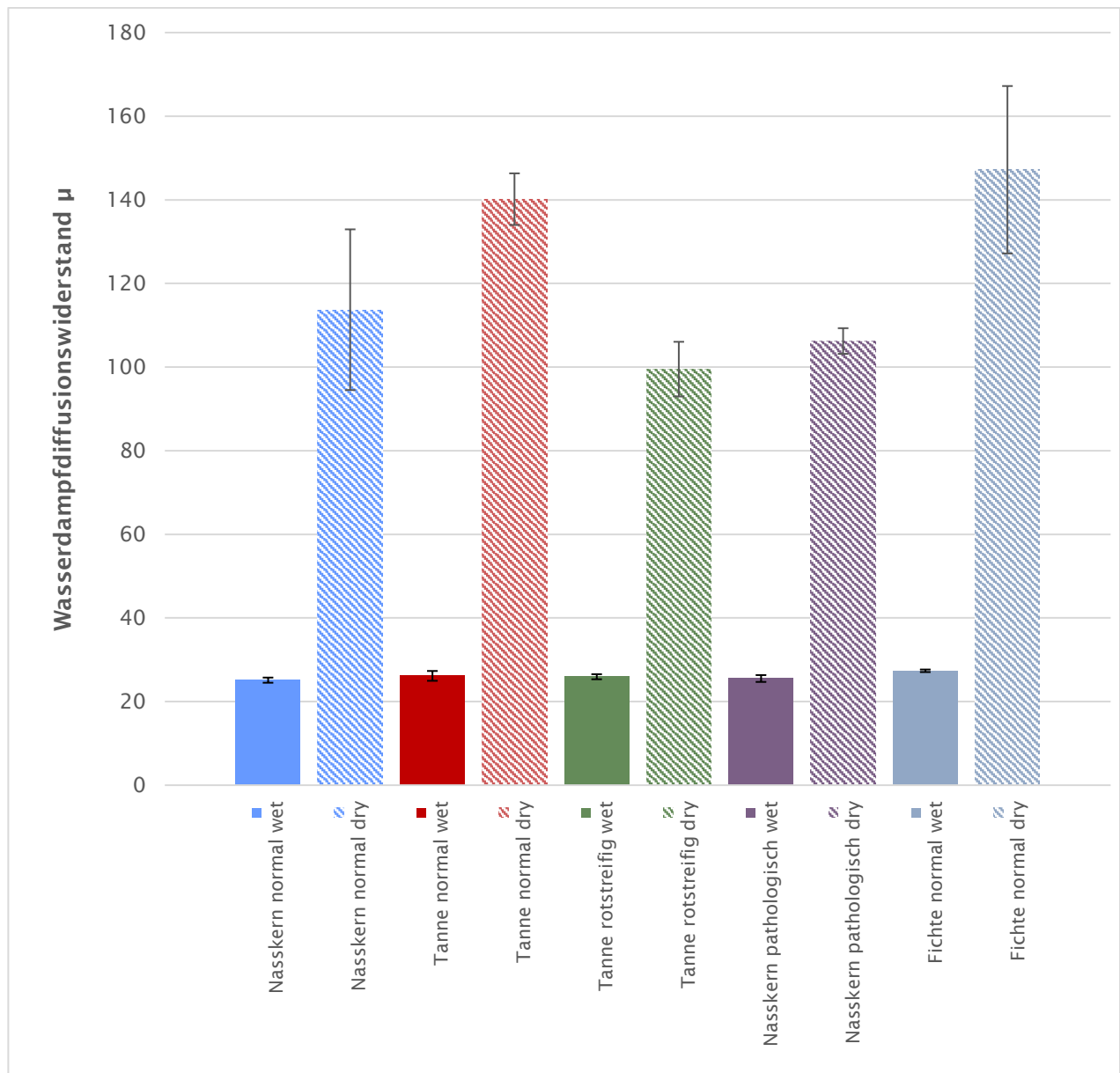


Abb. 13: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen der verschiedenen Tannensortimente ermittelt nach DIN EN ISO 12572 nach dem dry- und wet-cup Verfahren

In der obigen Abbildung ist die Wasserdampfdurchlässigkeit der verschiedenen Tannensortimente dargestellt. Dabei ist auffällig, dass alle Varianten im feuchten Zustand die gleichen Werte aufweisen und dem entsprechend sehr durchlässig für Wasserdampf sind. Davon lässt sich ableiten, dass bei einem sehr feuchten Umgebungsklima bei allen Varianten mit einer schnellen Durchfeuchtung zu rechnen ist und dementsprechend auch ein ähnliches Risiko für einen biologischen Befall besteht. Unter trockenen Bedingungen ergeben sich deutliche Unterschiede (die mittlere Holzfeuchte der Proben beim dry-cup Verfahren liegt zwischen 7-8%). Unter diesen Bedingungen zeigen die Sortimente Nasskern normal, Nasskern pathologisch und Rotstreifigkeit einen niedrigeren Diffusionswiderstand als die Referenzproben von Tanne und Fichte. Das bedeutet, dass Wasserdampf bei diesen Proben (bei trockenem Umgebungsklima) schneller in das Holz diffundiert. Dieser Umstand deutet ggf. auf ein erhöhtes Schadensrisiko dieser Varianten hin, was aber noch über die biologischen Tests bestätigt werden muss. Jedoch ist an dieser Stelle anzumerken, dass die gemessenen Diffusionswiderstände

generell niedrig sind und nur in einem relativ engen Rahmen variieren, weshalb die gefundenen Unterschiede sicher nicht ausschliesslich mit einer höheren oder niedrigeren Befallswahrscheinlichkeit in Verbindung gebracht werden können. Weiter ist anzumerken, dass die Diffusionswiderstände von eventuellen Beschichtungen um ein Vielfaches höher liegen als beim unbehandelten Holz und deshalb einen grösseren Einfluss auf die Dampfdurchlässigkeit haben werden. Das bedeutet dann auch, dass die Ausführung der Oberflächenbehandlung höchstwahrscheinlich den Einfluss der Durchlässigkeit des Holzes überwiegt.

Die gemessenen Referenzwerte bzgl. der Dampfdiffusionswiderstandszahlen für Fichte und Tanne entsprechen den Vergleichswerten aus der Literatur (Vanek und Teischinger 1989, Volkmer et al. 2015).

5.1 Aufnahme von flüssigem Wasser und Abgabe des Wassers während der Trocknung

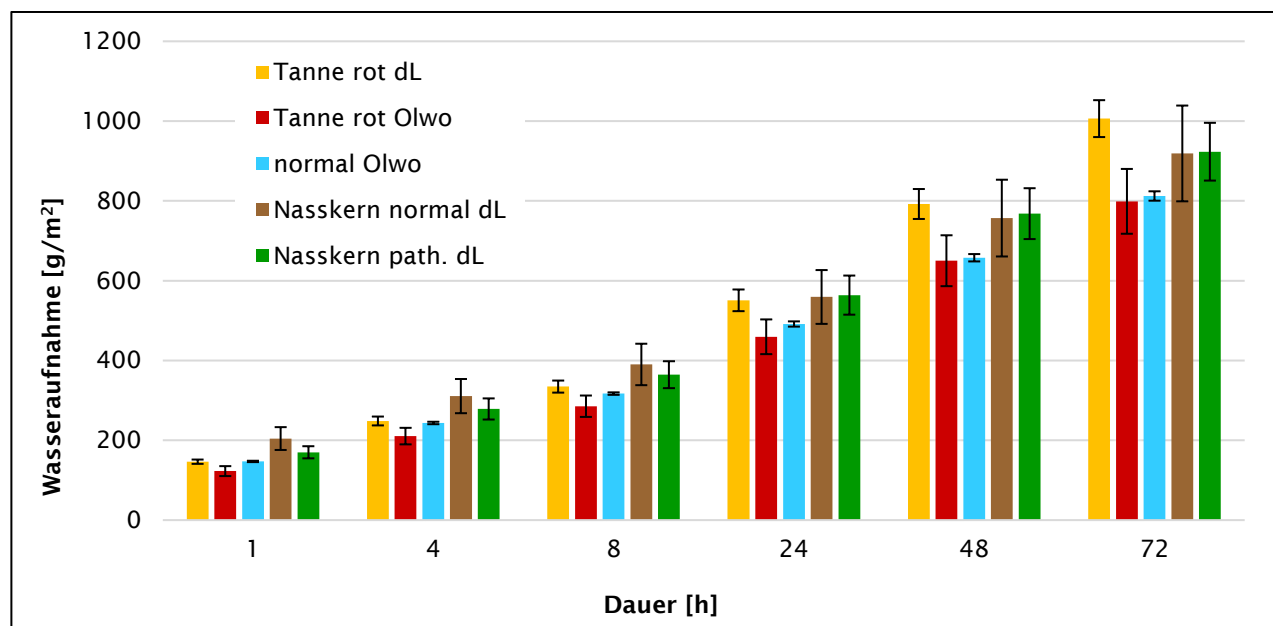


Abb. 14: Aufnahme von flüssigem Wasser von verschiedenen Sortimenten; Fehlerindikatoren Standardabweichung

In Abb. 14 ist die Wasseraufnahme der verschiedenen Varianten dargestellt. Bei der Lagerung in flüssigem Wasser nahm der normale Nasskern zu Beginn (bis 8h) am meisten Wasser auf. Auffällig ist die sehr geringe Streuung der Einzelwerte bei der normalen Tanne, was auf eine homogene chemische Zusammensetzung und strukturelle Gleichmässigkeit hindeutet. Die Variante rotstreifig de Ligno zeigt ab 48h Stunden die höchsten Werte, während Variante rotstreifig Olwo bei allen Messpunkten die tiefsten Werte aufweist, wobei wiederum die relativ hohe Streuung zu berücksichtigen ist. Unter dem Gesichtspunkt, dass bei der realen Exposition im Aussenbereich eher die kurzfristige Aufnahme von flüssigem Wasser von Bedeutung ist, scheint speziell der normale Nasskern auffällig. Jedoch ist auch an dieser Stelle anzumerken, dass die Werte für alle Varianten generell hoch sind, sehr nahe beieinander liegen und sich nicht wesentlich unterscheiden, speziell auch unter Berücksichtigung der jeweiligen Standardabweichungen. Die Ergebnisse bestätigen die allgemein gute kapillare Wasseraufnahme von Tanne, was aus der Praxis hinlänglich bekannt ist und was in erster Linie auf die Mikrostruktur des Holzes zurückzuführen ist.

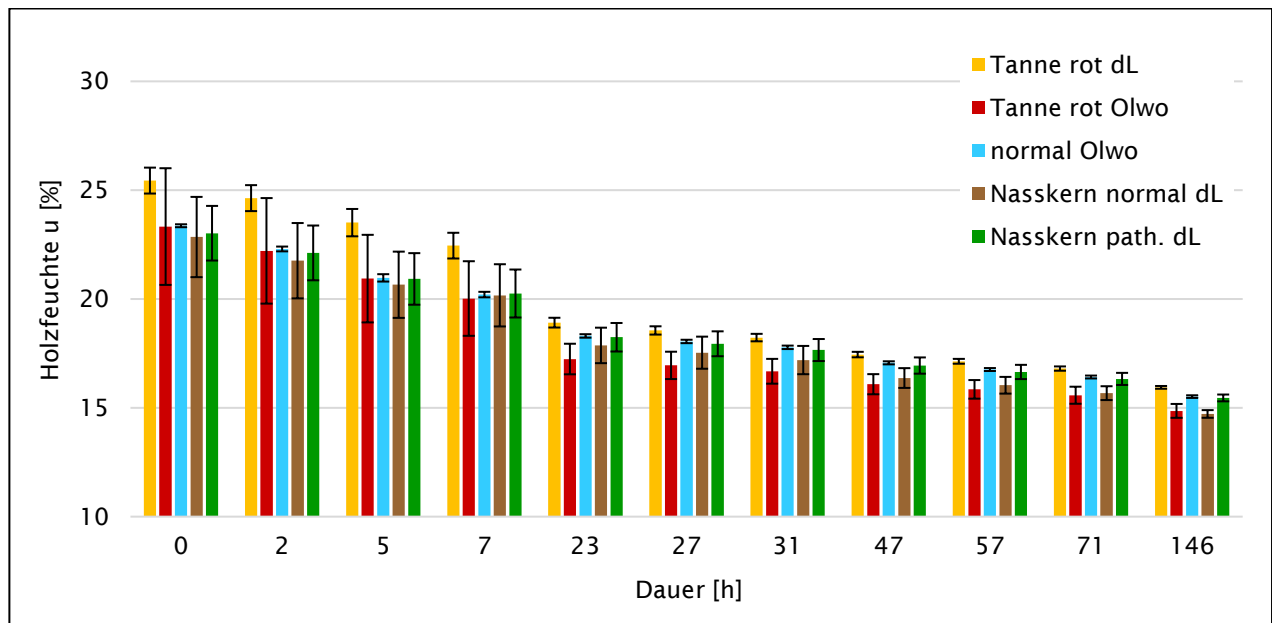


Abb. 15: Abtrocknen der zuvor wassergelagerten Proben bei Normklima (20 °C/65 % rel. LF), Fehlerindikatoren Standardabweichung

In Abb. 15 ist das Trocknungsverhalten nach dem Auffeuchten (Abb. 14) der verschiedenen Varianten dargestellt, was einem wesentlichen Parameter in Bezug auf die Dauer der Befeuchtung und somit auch in Bezug auf die Anfälligkeit gegenüber dem Tannenblättling darstellt. Berücksichtigt man die Streuung innerhalb der Sortimente, kann man sagen, dass die Werte der einzelnen Varianten nah zusammenliegen. Wie ferner zu erwarten war, werden die Feuchteunterschiede zwischen den Varianten mit abnehmender Holzfeuchte kleiner. Weiter ist ersichtlich, dass die Varianz bei der Variante: normal Olwo, am kleinsten ist. Im Vergleich dazu zeigen die Varianten mit Nasskern und Rotstreifigkeit eine deutlich grössere Standardabweichung, was wiederum daraufhin deutet, dass diese Merkmale sich auf die kapillare Wasseraufnahme und -trocknung auswirken und entsprechende Schwankungen beim Wassertransport hervorrufen.

5.2 Mikroskopische Untersuchungen

Die Abb. 16 - Abb. 21 zeigen ausgewählte mikroskopische Merkmale der Rotstreifigkeit und des pathologischen Nasskerns. Dazu kann gesagt werden, dass die Rotstreifigkeit bei den vorliegenden Proben mikroskopisch gut sichtbar wird. Es konnten bei einer Vielzahl von Stellen Hyphen und Sporen nachgewiesen werden. Die Perforation der Zellwände, wie sie teilweise in der Literatur beschrieben ist, konnte nicht beobachtet werden, was aber sicher auch auf die entsprechende Lagerdauer der Stämme zurückzuführen ist. Ein signifikanter Abbau oder Schädigung des Holzes war ebenfalls nicht erkennbar. Dem gegenüber ist die Unterscheidung von Proben mit Nasskern zu normalen Proben schwierig und nicht eindeutig durchführbar. Bei den Proben mit pathologischem Nasskern waren die Ränder der Kreuzungsfeldtüpfel teilweise mit einer feinen Membran überwachsen (Abb. 18, Abb. 20) oder die Tüpfelmembran selbst war stark verkrustet. Weiter fanden sich auffällig viele kleine Ablagerungen auf der Zellwandoberfläche (Abb. 19, Abb. 21). In den meisten Fällen hat es sich dabei um mineralische Ablagerungen gehandelt, wobei eine Abgrenzung zu holzbewohnenden Bakterien oder Pilzsporen nicht immer eindeutig war.

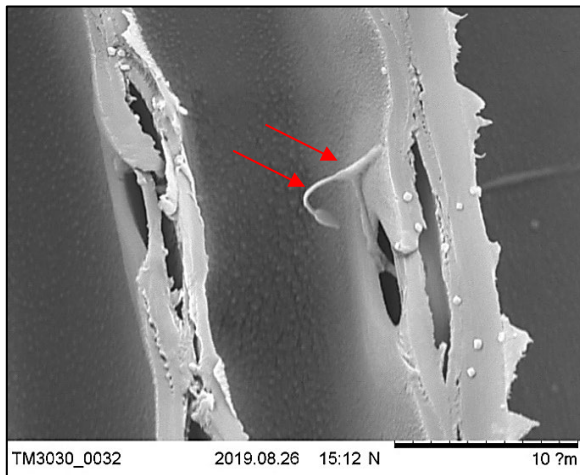


Abb. 16: rotstreifiges Tannenholz, Ein Hyphenstrang wächst durch einen Hoftüpfel und verzweigt sich danach

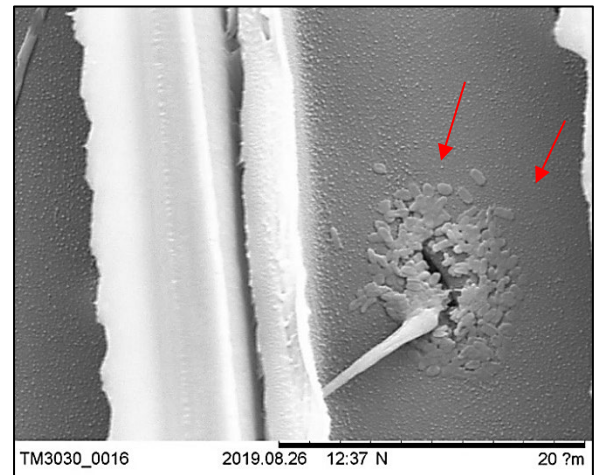


Abb. 17: rotstreifiges Tannenholz, Hyphenablagerung im Bereich eines Kreuzungsfeldtüpfels sowie eine grosse Häufung von Sporen im Bereich des Tüpfels

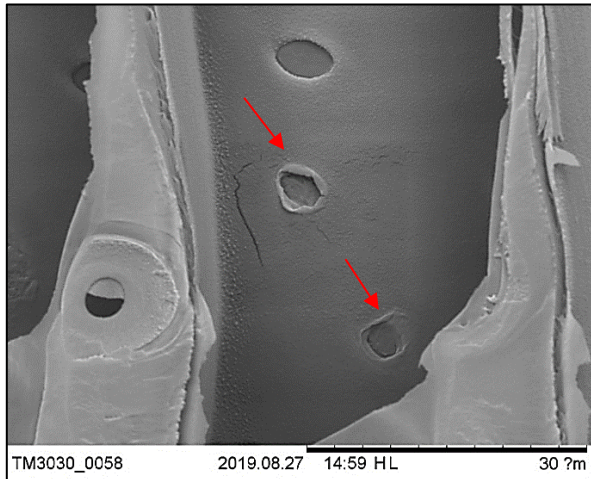


Abb. 18: pathologischer Nasskern, die Tüpfelränder der Kreuzungsfeldtüpfel sind verformt und lamellenartig umgebildet.

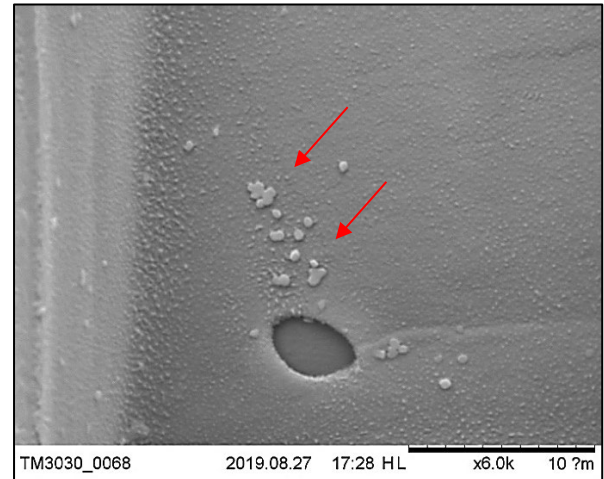


Abb. 19: pathologischer Nasskern, deutliche Ablagerungen auf der Zellwandoberfläche, Eine Zuordnung dieses Materials ist nur begrenzt möglich (Partikel, Sporen oder Bakterien).

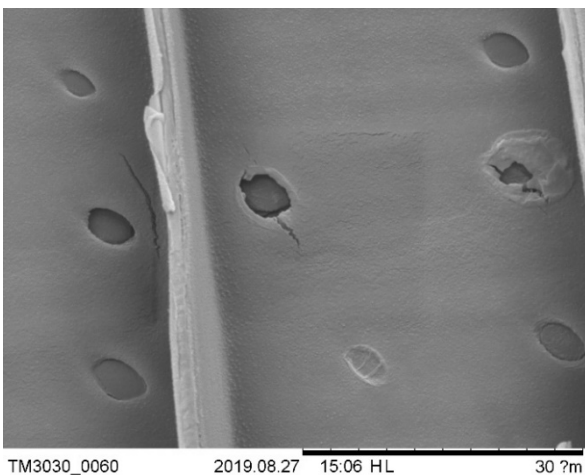


Abb. 20: pathologischer Nasskern, Die Tüpfel der Kreuzungsfeldtüpfel sind verwachsen und teilweise durch eine weitere Membran verschlossen

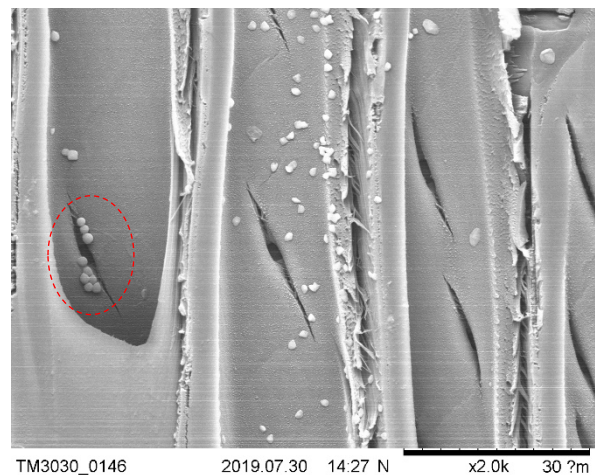


Abb. 21: pathologischer Nasskern, deutliche Ablagerungen auf der Zellwandoberfläche, Eine Zuordnung dieses Materials ist nur begrenzt möglich, wobei es sich beim rot eingegrenzten Bereich wahrscheinlich um Sporen handelt.

Die Proben in Abb.: 24 und Abb.: 25 stammen von einer geschädigten Fassade. Die Holzstruktur ist stark durchsetzt von Hyphen und die Zellstruktur stark vom Angriff durch den Tannenblättling geschwächt. Im Vergleich dazu sind in Abb.: 22 und Abb.: 23 Referenzstrukturen von Tannenholz abgebildet, bei welchen eine makellose Zellstruktur ohne Pilzbefall sichtbar ist. Durch die für die Untersuchung mit dem REM notwendige Trocknung der Proben kommt es zu einem starken Schwinden des Holzes. Die durch den enzymatischen Abbau geschwächten Stellen neigen dabei verstärkt zum Reißen. In Abb.: 26 ist nach 6-wöchiger Exposition in der Petrischale ein fortgeschrittener Abbau der Probe (Tanne normal) festzustellen. Bei der Variante Nasskern normal (Abb.: 27) sind abgesehen von einigen Hyphen keine Veränderungen an der Holzstruktur sichtbar.

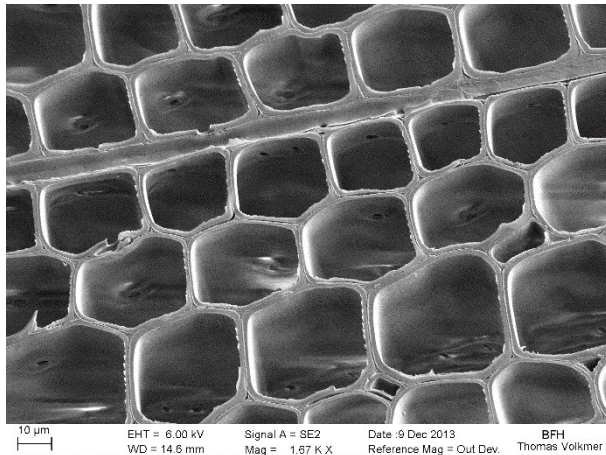


Abb.: 22: Tanne – Referenz: Frühholz ohne Pilzbefall

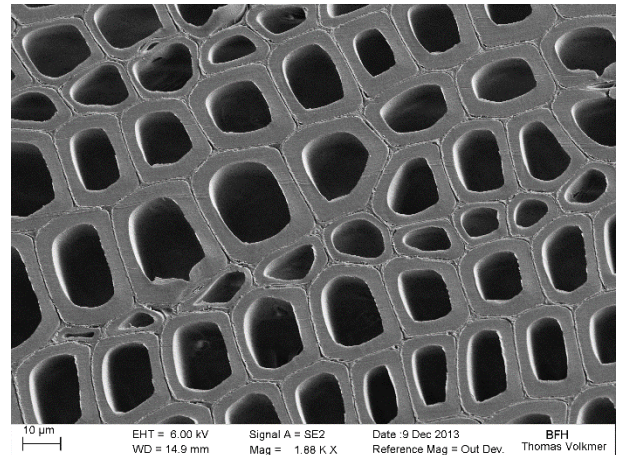


Abb.: 23: Tanne – Referenz: Übergangsbereich zwischen Früh- und Spätholz ohne Pilzbefall

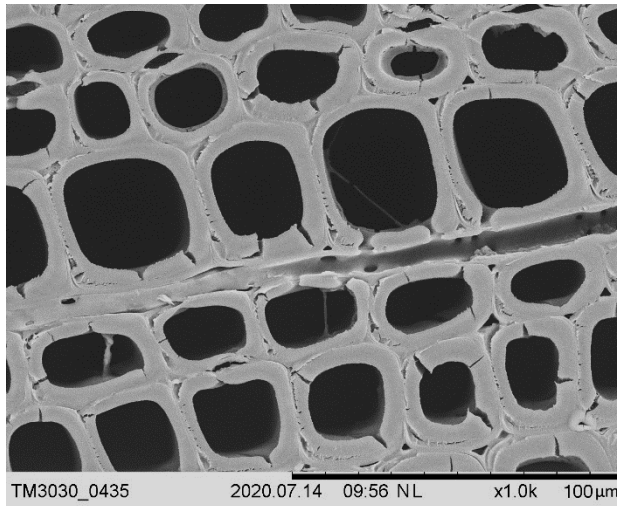


Abb.: 24: Tanne normal mit fortgeschrittenem Befall; die Zellstruktur ist schon deutlich geschwächt, 1000-fache Vergrößerung

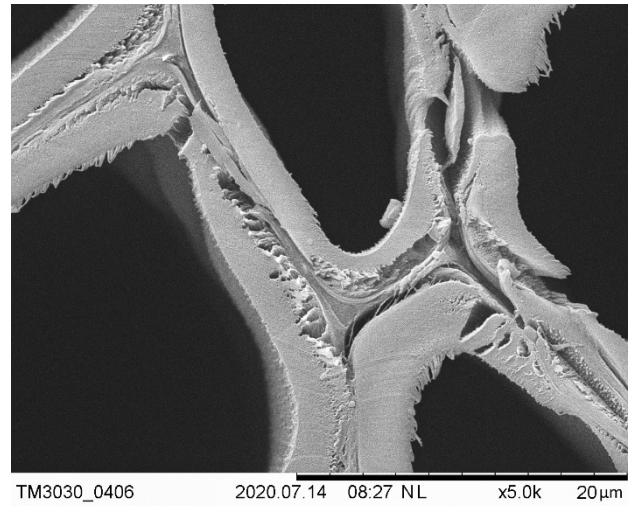


Abb.: 25: Tanne normal mit fortgeschrittenem Befall und Zerstörung der Zellwände, 5000-fache Vergrößerung

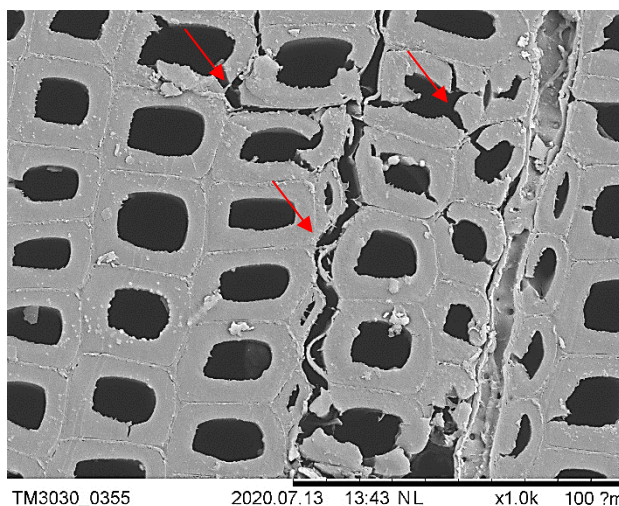


Abb.: 26: Tanne normal nach 6 Wochen Exposition im Labor mit deutlichen Spuren des Pilzangriffs, 1000-fache Vergrößerung

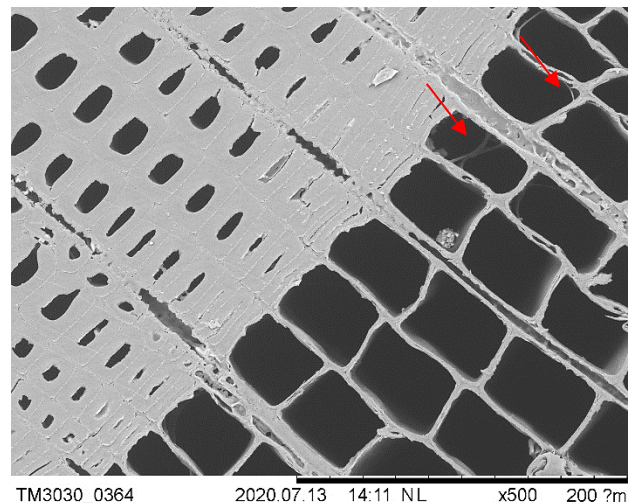


Abb.: 27: Nasskern normal nach 6 Wochen Exposition im Labor ohne sichtbare Veränderung der Zellsubstanz durch den Pilzangriff, 5000-fache Vergrößerung

5.3 Sorptionseigenschaften

Die blau hinterlegte Fläche in Abb. 28 stellt die in der Kammer geregelte rel. Luftfeuchte dar. Die Proben wurden direkt nach der Bestimmung des Darrgewichts in den Klimaschrank eingebracht und danach in unregelmässigen Abständen gewogen.

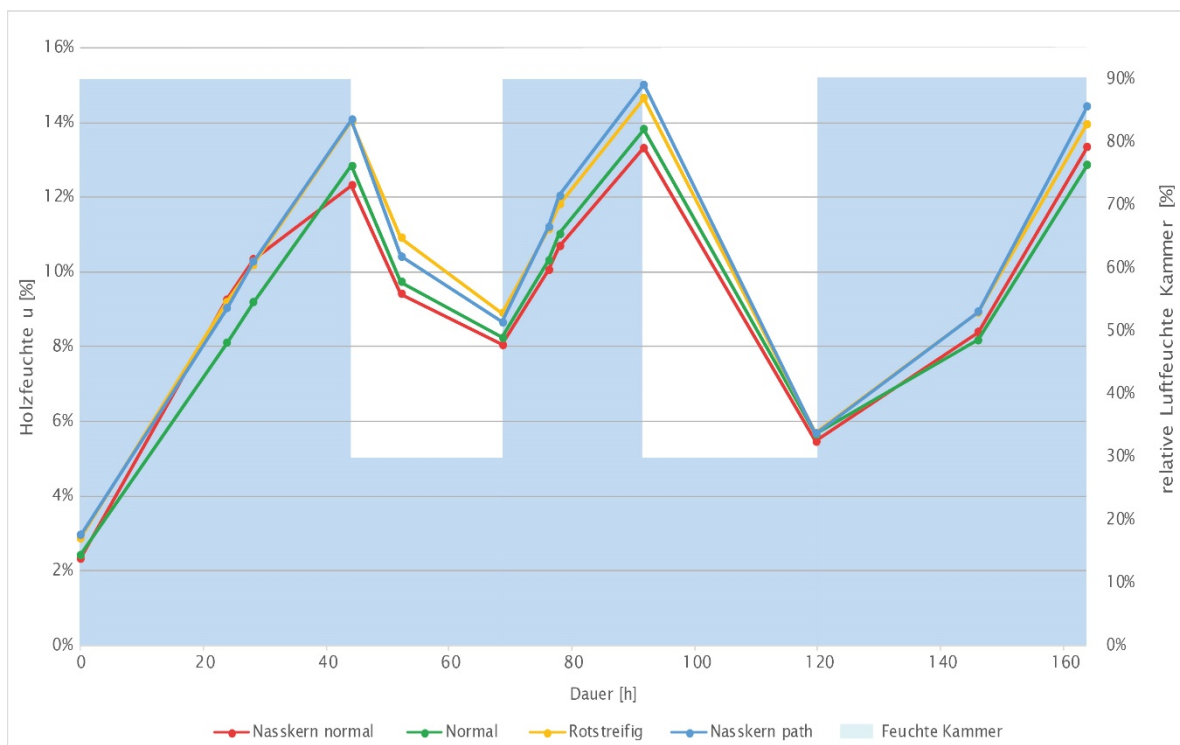


Abb. 28: Sorptionsverhalten der Varianten bei wechselndem Klima in einem Klimaschrank

Da der durch eine längere Verweildauer ausserhalb des geregelten Klimas verursachte Fehler als zu bedeutsam erachtet wurde, erfolgte die Wägung in den Aluschalen für jeweils 5 Probenkörper zusammen. Man kann also anhand der Messwerte nicht sinnvoll auf die Streuung innerhalb einer Variante schliessen. In Abb. 28 sind lediglich leichte Tendenzen zu erkennen, die sich aber in einem für Holz relativ engen Rahmen bewegen. Der pathologische Nasskern und die Variante rotstreifig liegen

tendenziell etwas höher als die beiden anderen Varianten, was wiederum daraufhin deutet, dass diese Varianten mehr und ggf. schneller Feuchtigkeit aus der Umgebung aufnehmen.

5.4 Beständigkeit gegenüber dem Tannenblättling

In Abb. 29 ist der Masseverlust der verschiedenen Varianten in Abhängigkeit der Befallszeit/Inkubation dargestellt. Dabei ist sehr auffällig, dass die Fichte bei fast allen Zeitpunkten die höchsten Abbauraten aufweist. Des Weiteren sind bei der Variante Nasskern normal grösstenteils sehr tiefe Raten zu beobachten. Die in den letzten 3 Wochen entnommenen Proben dieser Variante wiesen keinen nachweisbaren Masseverlust auf. Weiter ist ersichtlich, dass die rotstreifigen Proben und der pathologische Nasskern neben der Fichtenvariante tendenziell höhere Abbauraten zeigen. Zusammenfassend kann aber an dieser Stelle gesagt werden, dass es hinsichtlich des Masseverlustes keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tannevarianten und den Fichtevarianten auftreten, was die ähnliche biologische Beständigkeit der beiden Holzarten belegt. Ein Einfluss einer Vorschädigung durch Schichtpilze, welche die Rotstreifigkeit hervorrufen, kann nicht nachgewiesen werden. Weiterhin kann mit Hilfe dieser Prüfung nicht bestimmt werden, bei welcher Variante ein Befall schneller oder weniger schnell einsetzt bzw. welche Bedingungen dafür entscheidend sind. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen scheint es für die Unterscheidung der verschiedenen Varianten von grosser Bedeutung zu sein, herauszufinden, wie es zu einem Befall kommt, welche Grenzwerte überschritten werden müssen und wie schnell sich der Pilz dann auf dem Substrat etabliert. Die reine Abbaubarkeit, ausgedrückt durch Abbauraten, ist offensichtlich nicht für eine Unterscheidung der Varianten ausreichend und steht auch im Widerspruch zu den Praxiserfahrungen, wonach Tannenfassaden eben deutlich häufiger durch den Tannenblättling befallen werden als Fassaden aus Fichtenholz.

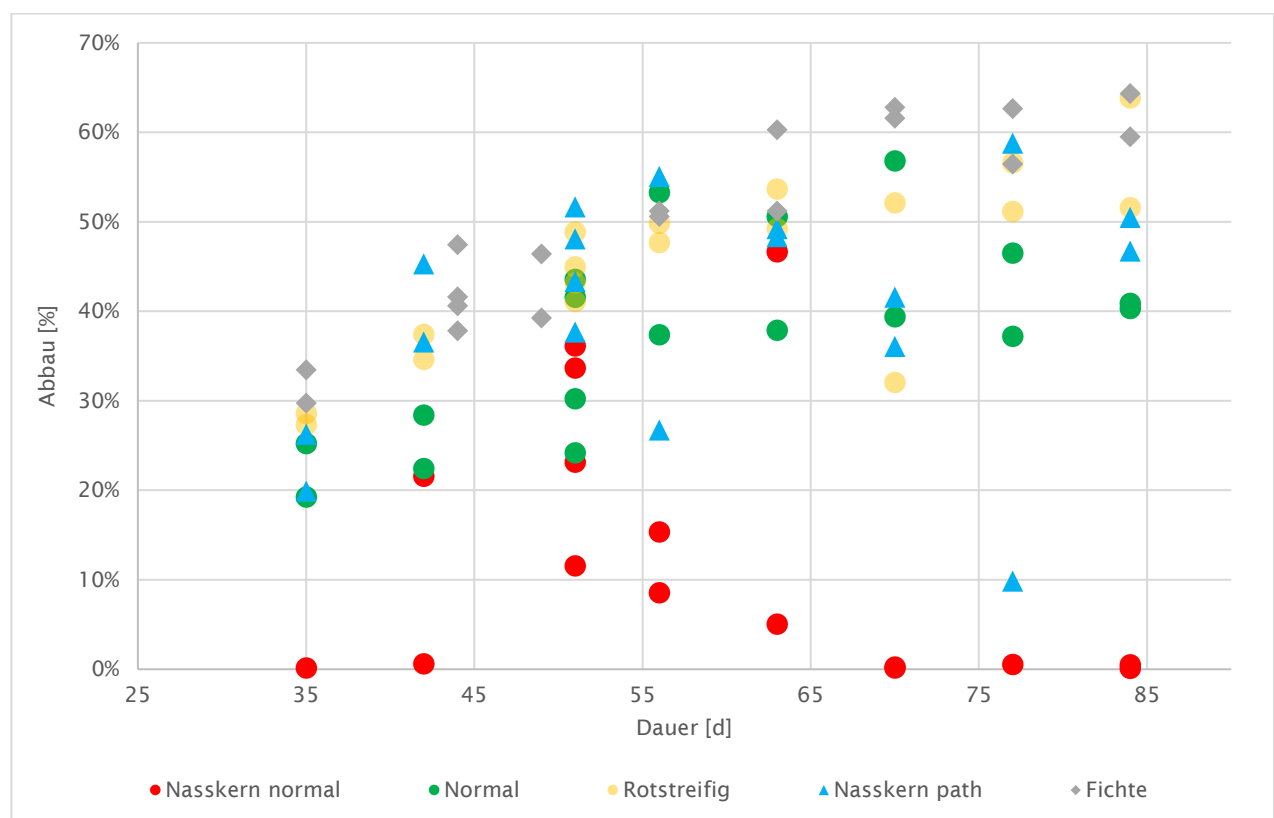


Abb. 29: Abbau der Holzsubstanz über eine Dauer von 12 Wochen (74 Tage), wobei die Abbauraten auf die Darmasse beim Ausgangszustand bezogen sind

6. Ergänzende Untersuchungen

Neben den oben genannten Betriebsbesuchen und laufenden Laboruntersuchungen wurde in Zusammenarbeit mit dem VGQ (Verein geprüfter Qualitätshäuser) eine weiterführende Umfrage bei

Holzbaubetrieben durchgeführt. Ziel dieser Erhebung war es, herauszufinden, wie gross der Schadensumfang in der Holzbaubranche ist und welche speziellen Rahmenbedingungen/Ursachen bei den verschiedenen Schadensfällen vorliegen. Die Auswertung dieser Umfrage ist noch in Bearbeitung. In diesem Zusammenhang können vorläufig folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Je nach Betrieb treten die Schadensfälle unterschiedlich gehäuft auf. Es gibt Betriebe, bei denen keine Schäden auftreten.
- Die Schäden treten bei unterschiedlichen Typen der Oberflächenbehandlung auf, sodass kein eindeutiger Einfluss der Beschichtungssysteme abgeleitet werden kann. Wobei davon auszugehen ist, dass sehr dichte Systeme mit entsprechend hoher Schichtdicke einen Befall durch den Tannenblättling begünstigen. (Es ist auch zu einem Befall bei unbeschichteten Fassaden gekommen. Teilweise wurde bei offenen Fassaden auch nur die Unterkonstruktion befallen.)
- Konstruktive Details haben wahrscheinlich den grössten Einfluss auf den Befall, insbesondere stumpfe Stösse bei horizontaler Ausführung sind als sehr kritisch zu betrachten.
- Häufig tritt ein Befall auch im Bereich der Verbindungsmittel (Schrauben) auf, insbesondere wenn die Fassadenlamellen bei diesen Stellen aufgerissen sind.
- Die Exposition der Fassaden hat einen erheblichen Einfluss auf den Befall.
- Die lokalen Bedingungen (Hanglage, Bewuchs u.a.) sind wesentliche Faktoren für eine Besiedlung der Fassade.

7. Überlegungen/Erfahrungen

Bei der Kultivierung des Tannenblättlings sind im Verlauf der 3 Versuchsreihen erhebliche Schwierigkeiten aufgetreten. Bei den ersten beiden Versuchen wurde mit einem Stamm des Leibniz-Instituts Braunschweig (DSMZ) gearbeitet. Bei beiden Serien hat der Pilz die Proben nur schwach besiedelt und es hat kein Abbau der Holzsubstanz stattgefunden.

Beim dritten Ansatz wurde mit einem Stamm der EMPA (Gruppe: Cellulose & Wood Materials) gearbeitet. Dieser war deutlich vitaler und hat zu den erwarteten Abbauraten geführt, auf welchen die hier vorgestellten Ergebnisse basieren. Im Nachhinein hat sich herausgestellt, dass die Kulturen des Leibniz-Instituts im tiefgefrorenen Zustand gelagert werden, was sich stark auf die Vitalität der Stämme auswirkt und diese signifikant schwächt. Der Einsatz des qualitativ minderwertigen Materials hat zu den erheblichen Verzögerungen im Projekt geführt und konnte so nicht abgeschätzt werden, auch weil in diesem Zusammenhang eine Reihe an Klimaanpassungen und neuen Agar-Rezepturen getestet wurden, welche sich aber nicht als zielführend herausgestellt haben. Der vitale Stamm der EMPA steht weiterhin zur Verfügung und wird mit einer spezifischen Agar-Rezeptur kultiviert, versetzt mit Tannenholzpartikeln zum Erhalt der Vitalität.

8. Schlussfolgerungen

Bei der Bewertung der Laborversuche müssen prinzipiell zwei verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Einerseits muss geklärt werden, inwiefern Tannenholz per se anfälliger gegenüber dem Tannenblättling ist als z.B. Fichte. Andererseits gilt es abzuschätzen, inwieweit Tannenholz durch seine physikalischen Eigenschaften ggf. bessere Bedingungen bietet, damit es überhaupt zu einem Pilzbefall kommt. Diese Fragestellung würde sich dann in erster Linie auf das sorptive und kapillare Verhalten von Tannenholz beziehen.

In Bezug auf die generelle Anfälligkeit und einen möglichen Befall von Tannenholz (ohne Nasskern und Rotstreifigkeit) im Vergleich mit Fichtenholz kann gesagt werden, dass es keine wesentlichen Unterschiede dies bzgl. gibt. Beide Varianten werden in gleichem Umfang abgebaut, wobei Fichte sogar die grösseren Abbauraten aufwies. Hinsichtlich der unterschiedlichen Tannensortimente gilt prinzipiell das gleiche, dass die Rotstreifigkeit oder das Vorhandensein des Nasskerns zu einem stärkeren Befall geführt hat, kann ebenfalls nicht bestätigt werden, auch weil die Werte variieren und sich teilweise überlagern. Es war sogar so, dass die Proben mit normalem Nasskern nur ausgesprochen wenig durch den Tannenblättling befallen wurden und praktisch nicht abgebaut werden. Es bleibt aber zu betonen,

dass sich diese Ergebnisse nur auf Laborversuche beziehen und dementsprechend nicht ohne weiteres auf Holzelemente im Aussenbereich übertragen werden können. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass Tannenholz eine ähnliche Resistenz gegenüber dem Tannenblättling aufweist, wie Fichtenholz.

Was bei dieser Bewertung aber nicht beachtet wird, ist der initiale Start eines Befalls bzw. wie schnell die Besiedlung auf den verschiedenen Holzsortimenten erfolgt. Diese Frage kann labortechnisch nicht nachgestellt werden, da die Einflussfaktoren zu vielfältig sind. Jedoch kommt an dieser Stelle genau der Aspekt des sorptiven Verhaltens bzw. der physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Hölzer zum Tragen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Nasskernsortimente und die Proben mit Rotstreifigkeit im trockenen Zustand einen geringeren Diffusionswiderstand aufweisen, was darauf hindeutet, dass diese Varianten Wasser schneller aufnehmen können. In diesem Zusammenhang ist weiterhin wesentlich, dass Tannenholz aufgrund seiner offenen Tüpfelstruktur auch flüssiges Wasser schneller aufnehmen und weiterleiten kann. Gesehen den Fall, dass die konstruktive Ausführung der jeweiligen Objekte Staunässe und stehende Feuchtigkeit zulässt, würden die oben genannten Fakten zu einer schnelleren Durchfeuchtung der Bauteile führen. Die Feuchte könnte in diesem Zusammenhang beispielsweise über Risse im Bereich von Nägeln oder Schrauben eindringen. Des Weiteren bilden geschlossene Längsstöße optimale Bedingungen für den kapillaren Wassereintritt. Bei beschichteten Systemen kommt dabei erschwerend hinzu, dass durch die Beschichtung eine schnelle Austrocknung meist nicht möglich ist und die Bauteile somit länger feucht bleiben. Unter Berücksichtigung dieser Aussagen und unter Einbeziehung der vorliegenden Schäden ist davon auszugehen, dass Tannenholz schneller vom Tannenblättling befallen werden kann. Diese Schlüsse machen aber auch deutlich, dass in erster Linie die konstruktiven Details für diese Anfälligkeit verantwortlich sind. Bei einem Einsatz von Tannenholz entsprechend dem technischen Stand des Wissens wären die gehäuft auftretenden Schäden weitestgehend vermeidbar gewesen. Dies bzgl. ist auch der (Nicht-)Einfluss der Belüftung kritisch zu hinterfragen. Bei einem zu geringen Abstand zwischen Fassadenschalung und Wandaufbau kann keine ausreichende Belüftung und somit auch keine ausreichende Austrocknung der Fassade gewährleistet werden. Dieser Umstand wirkt sich wiederum direkt auf die Dauer der Durchfeuchtung der Bauteile aus und kann somit einen Befall stark unterstützen. Ein weiterer Parameter ist die Art und Ausführung der Oberflächenbehandlung. Wenn z.B. Vorvergrauungslasuren mehrfach aufgetragen werden, ist davon auszugehen, dass sich das Austrocknungsverhalten der Bauteile verschlechtert und somit einen Befall durch den Tannenblättling begünstigt. Allgemein kann in diesem Zusammenhang gesagt werden, je diffusionsoffener desto besser.

Nicht zu vergessen sind bei diesen Ausführungen auch die allgemeinen klimatischen und lokalen Gegebenheiten vor Ort. Dementsprechend ist es aber besonders wichtig, dass bei feuchten Umgebungsbedingungen (nord-west Ausrichtung, starke Vegetation, Verschattung u.a.) darauf geachtet wird, dass die konstruktiven Details sehr sorgsam geplant und ausgeführt werden. Dies ist deshalb von grosser Bedeutung, weil der Befall und die vorliegenden Schadensfälle aus einer Kombination verschiedener Umstände resultieren: Konstruktionsdetails, Ausführungsqualität, Typ der Oberflächenbehandlung u.a. Dabei ist davon auszugehen, dass nur wenn die meisten der genannten Einflussparameter wirksam werden auch mit einem Befall zu rechnen ist. Das bedeutet weiter, dass bereits die Einhaltung der entsprechenden Konstruktionsregeln zu einer deutlichen Reduzierung der Schadensfälle führen wird.

Wenn aufgrund der Objektvorgaben und der lokalen Bedingungen eine jederzeit schnelle Austrocknung der Bauteile bspw. der Fassadenelemente nicht gegeben ist, kann durch eine Druckimprägnierung ein nachhaltiger chemischer Schutz des Holzes aufgebaut werden. Dabei ist mit Sicherheit davon auszugehen, dass sich die Lebensdauer und die unterhaltsfreie Zeit deutlich verlängern. Am Markt existieren schwermetallfreie Produkte, welche diese Anforderungen gut erfüllen und die Umwelt nur gering belasten. Aus diversen Praxiserfahrungen ist bekannt, dass imprägnierte Tannenfassaden keinerlei Schäden aufweisen und nicht durch holzerstörende Pilze angegriffen werden. Darüber hinaus ist eine farbliche Gestaltung derartiger Fassaden durch angepasste Systeme möglich, wodurch die ästhetischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit dieser Elemente weiter verbessert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Tannenholz gut für den Einsatz als Fassadenschalung geeignet ist und bei entsprechend fachgerechter Verwendung mit der gleichen Dauerhaftigkeit wie bei Fichtenholz gerechnet werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Tannenholz nicht mit Harzaustritten zu rechnen ist und die ästhetische Erscheinung deutlich besser ist als bei Fichte. Da Fassadenschalungen aus Tanne in der Regel aus vergleichsweise dicken Stämmen eingeschnitten

werden und nicht aus kerngetrennten Rohhoblern hergestellt sind, ist auch mit deutlich weniger Rissen und Verwerfungen zu rechnen, als das bei Fichte üblich ist.

9. Bestimmungen zum vorliegenden Bericht

Dieser Bericht darf nicht ohne Genehmigung der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau auszugsweise vervielfältigt werden. Jegliche Veröffentlichung des Berichts oder von Teilen davon bedarf der schriftlichen Zustimmung der Fachhochschule. Ein Original dieses Berichts wird für 5 Jahre aufbewahrt. Dieser Bericht ist nur mit den Unterschriften des Institutsleiters für und des Projektverantwortlichen gültig.

9.1 Umfang des Berichts

Dieser Bericht besteht aus 29 Seiten inkl. Anhang.

10. Verzeichnisse

10.1 Literaturverzeichnis

- Bender, G. (2006): Qualitätsbestimmende Eigenschaften von Tannen- und Fichtenstarkholz aus dem Schwarzwald unter der Berücksichtigung hochwertiger Verwendungsmöglichkeiten. Diss., Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Brsg.
- Brill, E.; Bock, E. et al. (1981): Über die Bedeutung von Mikroorganismen im Holz von *Abies alba* Mill. für das Tannensterben; Forstw Cbl 100, S. 195-206
- Huckfeldt, T. (2003): Ökologie und Cytologie des echten Hausschwammes (*Serpula lacrymans*) und anderer Hausfäulepilze. Diss., Universität Hamburg
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O. (2015): Hausfäule- und Bauholzpilze. Diagnose und Sanierung. Verlag Rudolf Müller, Köln
- Huckfeldt, T.; Wenk, H.J. (2009): Holzfenster: Konstruktion, Schäden, Sanierung, Wartung. Verlag Rudolf Müller, Köln
- Jahn, H. (1971): Stereoide Pilze in Europa. Westfälische Pilzbriefe 4-7, S. 88ff
- Kleist, G.; Seehann, G. (2007): Colonization patterns and topochemical aspects of sap streak caused by *Stereum sanguinolentum* in Norway spruce. Forest Pathology 27 (6): S. 351 - 361
- Lang, K.J. (1981): Anatomische Befunde im Nasskernbereich der Wurzel von *Abies alba*. Forstw Cbl 100, S. 180-183
- Mehlin, I. (2001): Trocknungsverhalten von Tannenschnittholz (*Abies alba* Mill.) aus dem Schwarzwald. Diss., Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Brsg.
- Meierhofer, U. (1983): Untersuchungen zur Optimierung des Oberflächenschutzes von Holzbauteilen; Teil 2. Holz als Roh- und Werkstoff 41: S.197-202
- Michels, P. (1943): Der Nasskern der Weißtanne. Holz als Roh- und Werkstoff 6: S. 87-89
- Pechmann, H.; Aufsess, H. et al. (1967): Untersuchungen über die Rotstreifigkeit des Fichtenholzes. Verlag Paul Parey, Hamburg
- Schmidt, O.; Wauer, A. et al. (2013): Verfahren der Rundholzlagerung. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising
- Sell, J.; Kucera, L. (1989): Schweizer Weisstannenholz. Holz als Roh- und Werkstoff 47: S. 463-469
- Sell, J.; Schnell, G. (1988): Holzqualität gesunder und geschädigter Fichten und Tannen von 6 schweizerischen Standorten. Abschlussbericht über das Sanasilva-Teilprojekt 10, "Holzqualität", Empa, Dübendorf
- Tretter, A. (2013): Holzlackschäden: Beschichtungsmängel an Fenstern: Erkennen, Vermeiden, Sanieren. 2. Aufl. ed., DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Volkmer, T.; Glaunsinger, M. et al. (2015): Untersuchungen zur Wasserdampfdurchlässigkeit von Beschichtungen auf Holz für den Außenbereich. Bauphysik 37(3)
- Worrall, J.J.; Parmeter, J.R. (1982): Formation and Properties of Wetwood in White Fir. Phytopathology 72: S. 1209-1212

10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Projektstruktur mit den zu bearbeitenden Bereichen	5
Abb. 2: Frisch eingeschlagenes Tannenrundholz (Rundholzplatz Deligno März 2019)	7
Abb. 3: Tannenrundholz mit gut sichtbaren normalen Nasskern, er verläuft grösstenteils entlang der entsprechenden Jahrringgrenze.	7
Abb. 4: Tannenrundholz mit gut sichtbarem pathologischem Nasskern, Der Nasskern ist ungleichmässig über den Stammquerschnitt verteilt.	7
Abb. 5: Im Bericht berücksichtigte Varianten der Weisstanne (<i>abies alba</i>): von links Tanne normal, Tanne rotstreifig, Tanne mit normalem Nasskern, Tanne mit pathologischem Nasskern	8
Abb. 6: Proben während der Trocknung nach der Wasserlagerung	9

Abb. 7: Probe Variante rotstreifig direkt nach Entnahme aus dem Wasserbad	9
Abb. 8: Prüfkörper auf Glas mit Gummimanschette und zusätzlicher Abklebung mit Alutape	10
Abb. 9: Stark verformter Prüfkörper bei der wet-cup Variante nach erneuter Abklebung	10
Abb. 10: Schale mit Prüfkörpern Tanne normal	10
Abb. 11: Proben bewachsen mit Tannenblättling nach 5 Wochen mit deutlichem Bewuchs	11
Abb. 12: rotstreifige Probe mit teilweise entferntem Dunkelfruchtkörper ohne sichtbare Schädigung der Holzsubstanz	11
Abb. 13: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen der verschiedenen Tannensortimente ermittelt nach DIN EN ISO 12572 nach dem dry- und wet-cup Verfahren	12
Abb. 14: Aufnahme von flüssigem Wasser von verschiedenen Sortimenten, Fehlerindikatoren Standardabweichung	13
Abb. 15: Abtrocknen der zuvor wassergelagerten Proben bei Normklima (20 °C/65 % rel. LF), Fehlerindikatoren Standardabweichung	14
Abb. 16: rotstreifiges Tannenholz, Ein Hyphenstrang wächst durch einen Hoftüpfel und verzweigt sich danach	15
Abb. 17: rotstreifiges Tannenholz, Hyphenablagerung im Bereich eines Kreuzungsfeldtüpfels sowie eine grosse Häufung von Sporen im Bereich des Tüpfels	15
Abb. 18: pathologischer Nasskern, die Tüpfelränder der Kreuzungsfeldtüpfel sind verformt und lamellenartig umgebildet.	15
Abb. 19: pathologischer Nasskern, deutliche Ablagerungen auf der Zellwandoberfläche, Eine Zuordnung dieses Materials ist nur begrenzt möglich (Partikel, Sporen oder Bakterien).	15
Abb. 20: pathologischer Nasskern, Die Tüpfel der Kreuzungsfeldtüpfel sind verwachsen und teilweise durch eine weitere Membran verschlossen	15
Abb. 21: pathologischer Nasskern, deutliche Ablagerungen auf der Zellwandoberfläche, Eine Zuordnung dieses Materials ist nur begrenzt möglich, wobei es sich beim rot eingegrenzten Bereich wahrscheinlich um Sporen handelt.	15
Abb.: 22: Tanne normal mit fortgeschrittenem Befall; die Zellstruktur ist schon deutlich geschwächt, 1000-fache Vergrößerung	16
Abb.: 23: Tanne normal mit fortgeschrittenem Befall; die Zellstruktur ist schon deutlich geschwächt, 1000-fache Vergrößerung	16
Abb.: 24: Tanne normal mit fortgeschrittenem Befall; die Zellstruktur ist schon deutlich geschwächt, 1000-fache Vergrößerung	16
Abb.: 25: Tanne normal mit fortgeschrittenem Befall und Zerstörung der Zellwände, 5000-fache Vergrößerung	16
Abb.: 26: Tanne normal nach 6 Wochen Exposition im Labor mit deutlichen Spuren des Pilzangriffs, 1000-fache Vergrößerung	17
Abb.: 27: Nasskern normal nach 6 Wochen Exposition im Labor ohne sichtbare Veränderung der Zellsubstanz durch den Pilzangriff, 5000-fache Vergrößerung	17
Abb. 28: Sorptionsverhalten der Varianten bei wechselndem Klima in einem Klimaschrank	17
Abb. 29: Abbau der Holzsubstanz über eine Dauer von 12 Wochen (74 Tage), wobei die Abbaurate auf die Darmmasse beim Ausgangszustand bezogen ist	18

Anhang A:

10.2 Wasserdampfdiffusionswiderstand

Tabelle 1: Einzelwerte der Ergebnisse für die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit

		N*	W	μ	MW μ	Std μ	s_d	MW s_d	Std s_d
Variante	Dry/ Wet	Proben- nummer	[kg/(m ² ·s·Pa)]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]
Nn	dry	1	2.0135E-10	101.844			1.017		
Nn	dry	2	1.7609E-10	116.568			1.162		
Nn	dry	3	1.7266E-10	118.584			1.186		
Nn	dry	4	1.4465E-10	141.271			1.415		
Nn	dry	5	2.2512E-10	90.343	113.72	19.23	0.909	1.138	0.192
Nn	wet	1	8.3813E-10	24.308			0.244		
Nn	wet	2	8.2109E-10	24.874			0.249		
Nn	wet	3	8.0395E-10	25.310			0.255		
Nn	wet	4	7.8097E-10	25.990			0.262		
Nn	wet	5	8.0545E-10	25.144	25.13	0.62	0.254	0.253	0.007
Tn	dry	1	1.4391E-10	140.974			1.422		
Tn	dry	2	1.3769E-10	147.602			1.487		
Tn	dry	3	1.4159E-10	143.245			1.446		
Tn	dry	4	1.4700E-10	137.838			1.392		
Tn	dry	5	1.5517E-10	131.134	140.16	6.17	1.319	1.413	0.063
Tn	wet	1	7.4766E-10	27.148			0.274		
Tn	wet	2	8.1555E-10	24.931			0.251		
Tn	wet	3	8.1729E-10	24.903			0.251		
Tn	wet	4	7.7111E-10	26.394			0.266		
Tn	wet	5	7.4527E-10	27.344	26.14	1.18	0.275	0.263	0.012
Tr	dry	1	1.8784E-10	106.995			1.090		
Tr	dry	2	2.0893E-10	96.623			0.980		
Tr	dry	3	2.1239E-10	94.908	99.51	6.54	0.964	1.011	0.069
Tr	wet	1	7.9200E-10	25.420			0.259		
Tr	wet	2	7.5730E-10	26.598			0.270		
Tr	wet	3	7.8030E-10	25.808	25.94	0.60	0.262	0.264	0.006
Np	dry	1	1.8714E-10	107.849			1.094		
Np	dry	2	1.9902E-10	101.336			1.029		
Np	dry	3	1.8662E-10	108.147			1.097		
Np	dry	4	1.8549E-10	108.725			1.104		
Np	dry	5	1.9251E-10	105.126	106.24	3.07	1.063	1.077	0.031
Np	wet	1	7.9136E-10	25.535			0.259		
Np	wet	2	7.6252E-10	26.397			0.269		
Np	wet	3	7.8054E-10	25.908			0.262		
Np	wet	4	7.8876E-10	25.562			0.260		
Np	wet	5	8.3470E-10	24.197	25.52	0.82	0.245	0.259	0.009
Fn	dry	1	2.1803E-10	117.466			0.939		
Fn	dry	2	1.8370E-10	139.723			1.114		
Fn	dry	3	1.7398E-10	147.997			1.177		
Fn	dry	4	1.5557E-10	165.559			1.316		
Fn	dry	5	1.5513E-10	165.255	147.20	20.02	1.320	1.173	0.158
Fn	wet	1	9.4790E-10	27.121			0.216		
Fn	wet	2	9.4972E-10	27.052			0.216		
Fn	wet	3	9.2554E-10	27.637			0.221		
Fn	wet	4	9.4097E-10	27.286			0.218		
Fn	wet	5	9.2656E-10	27.728	27.37	0.30	0.221	0.218	0.003

W: Wasserdampfdiffusions-Durchlasskoeffizient μ : Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
 s_d : wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

10.3 Aufnahme von flüssigem Wasser und Abgabe des Wassers während der Trocknung

Tabelle 2: Einzelwerte Wägungen Proben

	Dauer [h]	0	1	4	8	24	48	72
Variante	N'	m ₀	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	m ₆
Tr dL	1	112.44	114.01	115.02	115.99	118.10	120.62	122.82
Tr dL	2	111.05	112.70	113.86	114.84	117.20	119.88	122.29
Tr dL	3	109.48	111.14	112.39	113.40	116.14	119.03	121.60
Tr dL	4	109.71	111.15	112.12	112.93	115.00	117.37	119.50
Tr dL	5	110.70	112.08	113.00	113.80	115.81	118.09	120.19
Tr dL	6	110.04	111.57	112.69	113.55	115.88	118.35	120.42
Tr Olwo	1	92.94	94.22	95.17	95.97	97.82	99.92	101.67
Tr Olwo	2	120.58	121.56	122.29	123.01	124.48	126.06	127.28
Tr Olwo	3	91.94	93.15	94.04	94.82	96.51	98.61	100.26
Tr Olwo	4	122.29	123.71	124.72	125.53	127.38	129.31	130.80
Tr Olwo	5	119.49	120.62	121.40	122.12	123.62	125.18	126.43
Tr Olwo	6	90.67	92.26	93.43	94.44	96.63	98.97	100.63
Tr Olwo	7	121.29	122.30	123.01	123.55	125.10	126.67	127.80
Tr Olwo	8	89.90	91.60	92.73	93.64	96.16	98.99	101.34
Tn	1	89.41	90.97	92.08	92.83	94.72	96.48	98.13
Tn	2	84.20	85.68	86.72	87.46	89.27	90.95	92.54
Tn	3	84.34	85.87	86.82	87.60	89.39	91.02	92.56
Tn	4	88.26	89.83	90.84	91.64	93.60	95.44	97.13
Tn	5	86.58	88.15	89.14	89.93	91.76	93.52	95.20
Tn	6	84.87	86.43	87.40	88.18	89.89	91.68	93.28
Nn dL	1	99.72	101.80	103.09	104.11	106.03	108.05	109.75
Nn dL	2	100.52	102.87	104.14	105.11	107.07	109.12	110.91
Nn dL	3	100.24	101.84	102.61	103.27	104.67	106.29	107.62
Nn dL	4	99.70	102.34	103.71	104.58	106.59	108.67	110.28
Nn dL	5	99.35	101.08	101.95	102.64	104.18	105.90	107.34
Nn dL	6	97.58	99.07	99.82	100.35	101.74	103.27	104.50
Nn dL	7	100.91	104.04	105.54	106.63	108.84	112.35	115.16
Np dL	1	93.49	95.69	97.21	98.39	101.18	104.04	106.02
Np dL	2	94.25	95.58	96.39	97.03	98.71	100.49	102.01
Np dL	3	108.63	110.29	111.38	112.27	114.42	116.49	118.01
Np dL	4	108.26	109.80	110.76	111.57	113.44	115.32	116.80
Np dL	5	92.55	94.65	96.05	96.92	99.03	101.06	102.51
Np dL	6	92.10	94.34	95.81	96.97	99.50	102.03	104.00
Np dL	7	102.19	104.04	105.11	106.03	107.95	109.96	111.58
Np dL	8	106.64	108.54	109.67	110.62	112.77	115.08	116.88
Np dL	9	107.65	109.17	110.15	110.96	112.84	114.83	116.36
Np dL	10	99.14	100.66	101.63	102.42	104.28	106.26	107.69
Referenz	1	112.30	112.34	112.37	112.39	112.51	112.65	112.83
Referenz	2	108.52	108.56	108.60	108.61	108.71	108.84	108.98

Tabelle 3: Abkürzungen

Nn: Nasskern normal	dL: bezogen von de de Ligno AG
Tn: Tanne normal	Olwo: bezogen von der Olwo AG
Np: Tanne Nasskern pathologisch	
Tr: Tanne rotstreifig	

10.4 Mikroskopische Untersuchungen

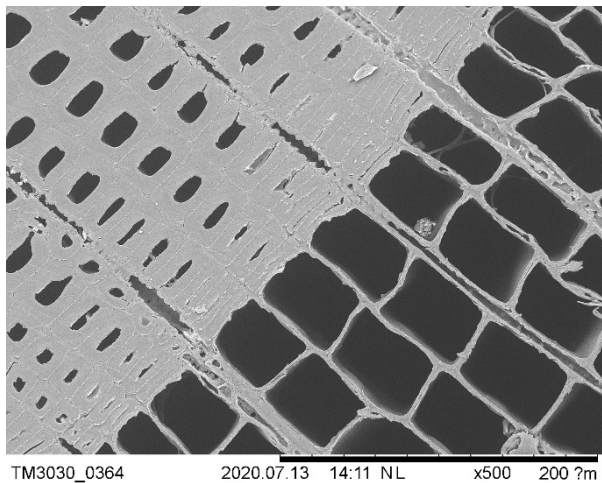


Abbildung 1: Nasskern normal nach 6-wöchiger Exposition mit sichtbaren Hyphen in den Zelllumen (500-fach)

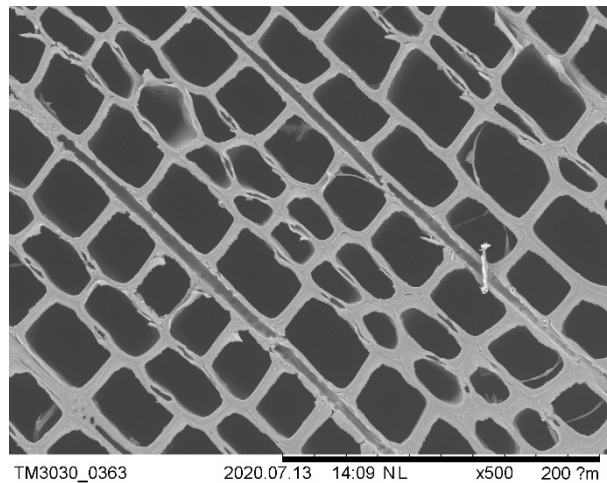


Abbildung 2: Nasskern normal nach 6-wöchiger Exposition mit sichtbaren Hyphen in den Zelllumen (500-fach)

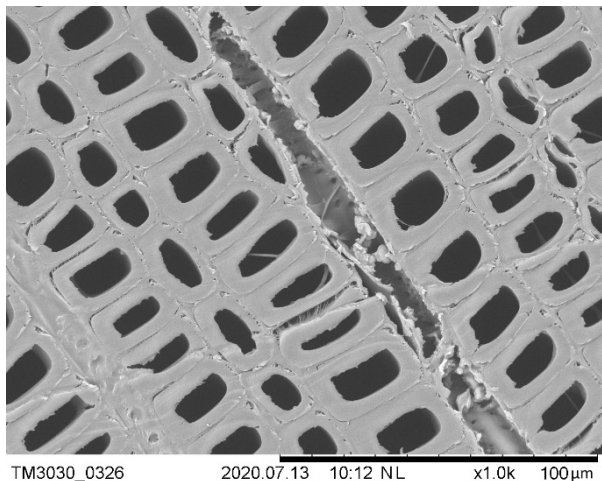


Abbildung 3: Probe einer Fassadenlamelle mit starkem Befall, Hyphen in Zelllumen (1000-fach)

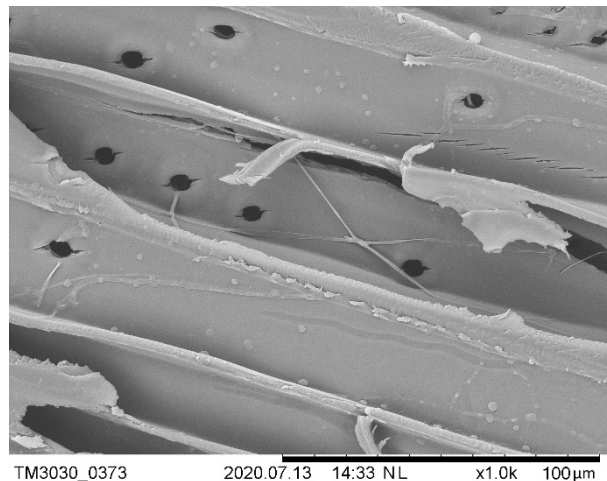


Abbildung 4: Probe einer Fassadenlamelle mit starkem Befall, Hyphen auf den Zellwänden (1000-fach)

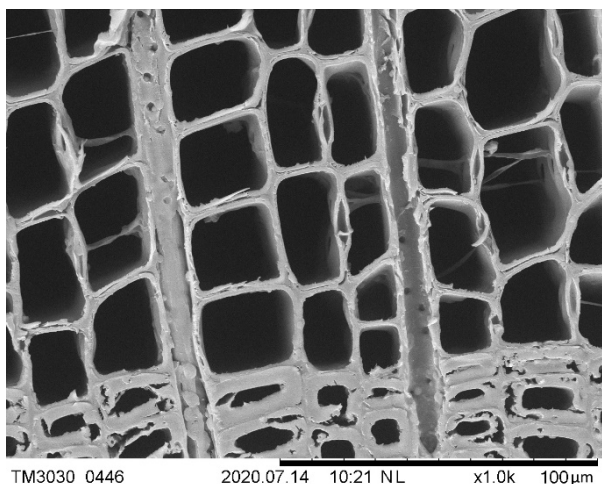


Abbildung 5: Probe einer Fassadenlamelle mit starkem Befall, Hyphen in Zelllumen (1000-fach), deutliche Spuren des Pilzangriffs im Spätholz

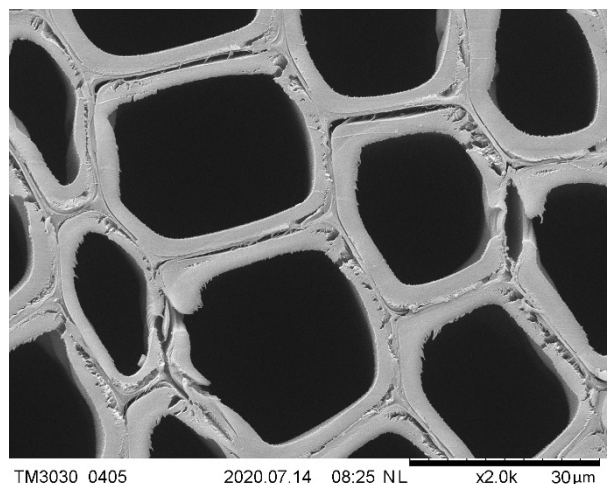


Abbildung 6: Probe einer Fassadenlamelle mit starkem Befall, deutlicher Materialabbau im Bereich der S2-Schicht und Delaminierung der einzelnen Zellen (2000-fach)

10.5 Sorptionseigenschaften

Tabelle 4 : Masseänderung der Probeschalen, die jeweils 5 Holzproben der entsprechenden Variante enthalten. Die Temperatur im Klimaschrank wurde auf 20 °C eingestellt.

Datum				27.01.20 20 11:50	28.01.20 20 11:40	28.01.20 20 15:55	29.01.20 20 08:00	29.01.20 20 16:00	30.01.20 20 08:30	30.01.20 20 16:00	30.01.20 20 17:49	31.01.20 20 07:33	01.02.20 20 11:33	02.02.20 20 14:00	03.02.20 20 07:40	03.02.20 20 15:13
Dauer [h]				0.00	23.83	28.08	44.17	52.17	68.67	76.17	77.98	91.72	119.72	146.17	163.83	171.38
Rel. Luftfeuchte Kammer [%]				90	90	90	30	30	90	90	90	30	90	90	30	30
Variante	m ₀	Schale Alu	N°	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13
[-]	[g]	[g]		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
Nn	50.644	14.032	1	66.072	68.947	69.507	71.228	69.602	68.837	70.069	70.451	71.792	67.447	69.230	71.963	69.397
Nn	52.838	14.612	2	68.588	73.611	74.171	73.633	72.302	71.672	72.616	72.951	74.399	70.328	71.708	74.164	72.201
Nn	52.991	14.333	7	68.442	71.405	71.965	73.860	72.261	71.543	72.467	72.762	74.095	70.223	71.615	74.172	72.025
Tn	50.696	14.809	9	66.843	69.841	70.401	72.148	70.595	69.754	70.892	71.285	72.716	68.394	69.546	71.842	70.031
Tn	50.931	14.591	10	66.705	69.529	70.089	71.877	70.404	69.689	70.663	71.004	72.348	68.367	69.869	72.382	70.110
Tn	51.887	14.677	11	67.783	70.650	71.210	73.278	71.534	70.803	71.854	72.217	73.726	69.508	70.745	73.104	71.193
Tr	58.065	14.241	3	73.837	77.558	78.118	79.900	78.411	77.394	78.643	79.056	80.740	75.625	77.630	80.576	77.697
Tr	54.351	14.178	4	70.221	73.611	74.171	76.665	74.667	73.440	74.705	75.050	76.561	71.612	73.237	75.966	73.653
Np	46.134	14.237	5	61.646	64.477	65.037	67.127	65.312	64.458	65.618	66.059	67.541	63.006	64.399	67.161	64.693
Np	45.689	15.190	6	62.289	65.189	65.749	67.342	65.678	64.848	66.014	66.362	67.637	63.466	65.014	67.331	65.102
Np	44.119	14.607	8	60.060	62.589	63.149	64.642	63.166	62.455	63.565	63.943	65.224	61.219	62.700	65.092	62.919

10.6 Beständigkeit gegenüber dem Tannenblättling

Tabelle 5: Einzelwerte der Ergebnisse für die Pilzversuche

Variante	N°	Dauer	Darrmasse m_0	Masse m_1	HF u_1	Darrmasse m_3	Abbau	Abbauratio	Dichte
[-]	[-]	[d]	[g]	[g]	[%]	[g]	[g]	[-]	[g/m³]
Fichte	4	35	1.890	2.341	76%	1.328	0.562	0.30	435
Fichte	16	35	1.769	1.885	60%	1.177	0.592	0.33	407
Fichte	20	44	1.855	1.953	69%	1.153	0.702	0.38	427
Fichte	21	44	1.755	1.945	87%	1.042	0.713	0.41	407
Fichte	27	44	2.018	2.077	96%	1.060	0.958	0.47	463
Fichte	28	44	1.806	3.085	193%	1.054	0.752	0.42	418
Fichte	3	49	1.909	1.733	69%	1.023	0.886	0.46	439
Fichte	9	49	1.889	1.922	68%	1.147	0.742	0.39	436
Fichte	18	56	1.872	1.798	97%	0.913	0.959	0.51	429
Fichte	19	56	1.911	1.854	96%	0.944	0.967	0.51	439
Fichte	12	63	1.808	1.857	111%	0.882	0.926	0.51	417
Fichte	25	63	1.740	1.553	125%	0.691	1.049	0.60	400
Fichte	17	70	1.749	1.483	121%	0.672	1.077	0.62	409
Fichte	24	70	1.831	1.379	103%	0.681	1.150	0.63	424
Fichte	1	70	1.810	1.948	147%	0.788	1.022	0.56	415
Fichte	2	77	1.803	1.690	151%	0.673	1.130	0.63	420
Fichte	22	84	1.766	1.335	87%	0.715	1.051	0.60	409
Fichte	26	84	1.733	1.607	160%	0.618	1.115	0.64	402
Nn	19	35	1.885	3.460	83%	1.889	-0.004	0.00	431
Nn	22	35	1.886	3.435	82%	1.883	0.003	0.00	429
Nn	8	42	1.875	4.250	128%	1.863	0.012	0.01	438
Nn	10	42	2.014	2.353	49%	1.580	0.435	0.22	464
Nn	5	51	1.932	2.058	61%	1.281	0.651	0.34	412
Nn	9	51	1.814	2.510	56%	1.604	0.210	0.12	435
Nn	23	51	1.869	3.886	171%	1.436	0.433	0.23	430
Nn	24	51	2.204	2.728	94%	1.407	0.797	0.36	501
Nn	1	56	2.078	3.205	82%	1.759	0.319	0.15	473
Nn	2	56	1.868	4.005	134%	1.708	0.160	0.09	426
Nn	15	63	1.843	4.539	159%	1.750	0.093	0.05	424
Nn	16	63	1.948	1.964	89%	1.039	0.909	0.47	447
Nn	17	70	1.919	3.557	86%	1.916	0.003	0.00	449
Nn	18	70	1.917	3.354	75%	1.912	0.005	0.00	447
Nn	3	77	2.011	4.614	129%	2.014	-0.003	0.00	465
Nn	4	77	1.977	3.684	87%	1.966	0.011	0.01	447
Nn	13	84	1.911	3.017	59%	1.901	0.010	0.01	435
Nn	14	84	1.790	2.432	36%	1.788	0.002	0.00	415
Np	2	35	1.614	1.9467	64%	1.190	0.424	0.26	376
Np	3	35	1.824	2.5981	78%	1.461	0.363	0.20	423
Np	4	42	1.610	1.9808	94%	1.021	0.589	0.37	374
Np	15	42	1.656	1.6787	85%	0.905	0.751	0.45	386
Np	1	51	1.620	1.4833	89%	0.783	0.837	0.52	374
Np	7	51	1.712	2.493	157%	0.970	0.742	0.43	398
Np	8	51	1.597	2.1268	157%	0.829	0.768	0.48	374
Np	13	51	1.605	2.8224	182%	1.000	0.605	0.38	375
Np	5	56	1.749	3.069	140%	1.281	0.468	0.27	402
Np	6	56	1.759	1.32	67%	0.790	0.969	0.55	407
Np	16	63	1.635	1.9101	130%	0.830	0.805	0.49	381
Np	17	63	1.613	1.3824	66%	0.833	0.780	0.48	378

Variante	N°	Dauer	Darrmasse m_0	Masse m_1	HF u_1	Darrmasse m_3	Abbau Δm	Abbauratio	Dichte
[-]	[-]	[d]	[g]	[g]	[%]	[g]	[g]	[-]	[g/m³]
Np	21	70	1.633	3.0593	221%	0.954	0.679	0.42	380
Np	22	70	1.619	3.0525	195%	1.035	0.584	0.36	376
Np	23	77	1.592	1.5455	136%	0.656	0.936	0.59	370
Np	24	77	1.747	3.7768	140%	1.575	0.172	0.10	406
Np	14	84	1.709	2.1437	153%	0.846	0.863	0.50	395
Np	18	84	1.755	3.1044	232%	0.935	0.820	0.47	411
Tn	12	35	1.863	2.365	57%	1.504	0.359	0.19	431
Tn	13	35	1.747	2.251	72%	1.306	0.441	0.25	404
Tn	19	42	1.885	2.701	100%	1.350	0.536	0.28	432
Tn	20	42	1.987	2.775	80%	1.541	0.446	0.22	456
Tn	5	51	1.914	3.866	166%	1.451	0.463	0.24	438
Tn	6	51	1.794	1.888	87%	1.012	0.782	0.44	413
Tn	23	51	1.857	2.042	88%	1.085	0.772	0.42	428
Tn	24	51	2.039	2.672	88%	1.422	0.617	0.30	469
Tn	8	56	1.898	2.922	146%	1.188	0.710	0.37	435
Tn	9	56	1.815	1.576	86%	0.848	0.967	0.53	416
Tn	10	63	1.762	2.934	168%	1.094	0.668	0.38	408
Tn	11	63	2.096	2.166	109%	1.035	1.061	0.51	483
Tn	1	70	1.853	1.775	122%	0.800	1.053	0.57	426
Tn	2	70	1.883	3.000	163%	1.141	0.742	0.39	433
Tn	15	77	1.780	1.143	20%	0.952	0.828	0.47	410
Tn	16	77	1.979	1.486	20%	1.242	0.737	0.37	456
Tn	3	84	1.885	3.148	183%	1.114	0.771	0.41	433
Tn	4	84	1.872	3.329	198%	1.117	0.755	0.40	434
Tr	10	35	2.226	2.761	71%	1.617	0.609	0.27	511
Tr	11	35	2.129	2.455	62%	1.520	0.609	0.29	494
Tr	6	42	1.956	2.842	122%	1.278	0.678	0.35	452
Tr	7	42	2.182	2.482	82%	1.365	0.817	0.37	497
Tr	2	51	2.161	2.346	84%	1.272	0.889	0.41	492
Tr	3	51	2.231	2.152	89%	1.140	1.091	0.49	509
Tr	8	51	2.122	2.875	139%	1.205	0.917	0.43	485
Tr	9	51	2.351	2.684	108%	1.293	1.058	0.45	539
Tr	15	56	2.253	2.602	121%	1.178	1.075	0.48	512
Tr	16	56	2.126	2.271	113%	1.066	1.060	0.50	489
Tr	1	63	1.846	2.161	131%	0.937	0.909	0.49	429
Tr	14	63	2.151	1.952	96%	0.996	1.155	0.54	497
Tr	21	70	2.179	2.286	119%	1.043	1.136	0.52	502
Tr	22	70	2.060	3.542	153%	1.399	0.661	0.32	473
Tr	23	77	2.225	2.128	120%	0.965	1.260	0.57	510
Tr	24	77	2.180	2.659	150%	1.064	1.116	0.51	505
Tr	19	84	1.749	1.406	122%	0.632	1.117	0.64	402
Tr	20	84	2.353	2.846	150%	1.139	1.214	0.52	538

m_0 : Darrmasse vor Versuchsbeginn

m_1 : Masse bei Entnahme aus Petrischale

m_3 : Darrmasse nach Versuchsende

Δm : Massedifferenz ($\Delta m = m_0 - m_3$)

Abbauratio = ($\Delta m / m_0$)

Dichte: Rohdichte nach Lagerung bis Massekonstanz bei 20°C / 65% rel LF

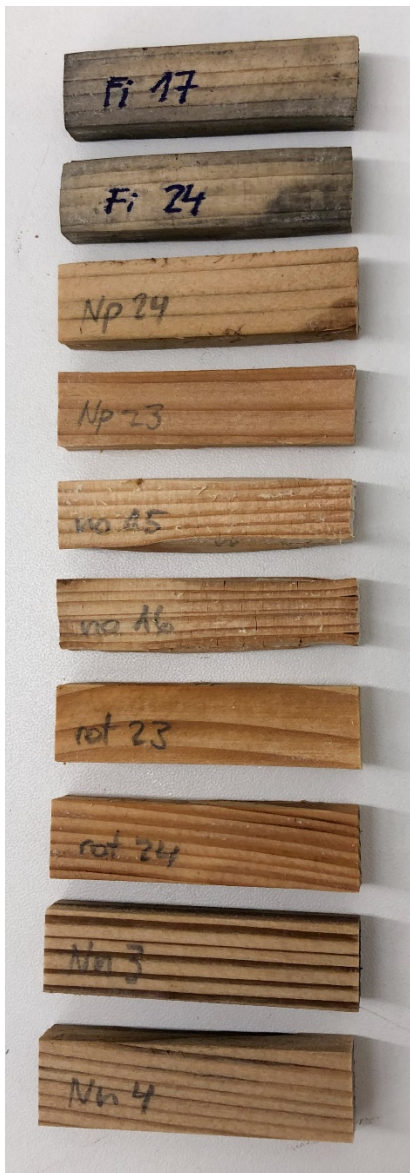


Abbildung 7: Holzproben gereinigt nach 11-wöchiger Exposition

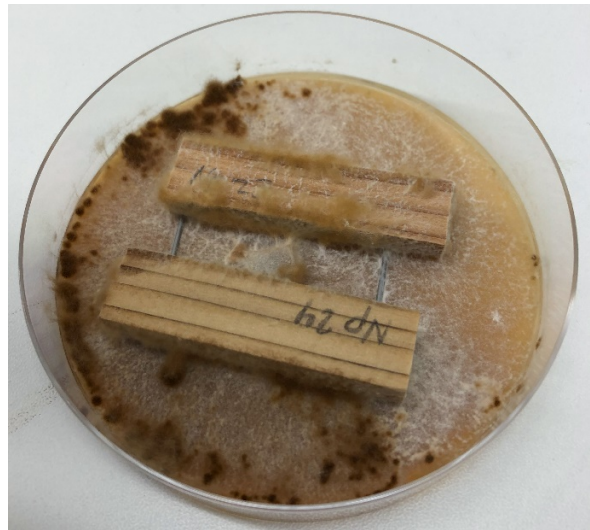


Abbildung 8: Proben von Nasskern pathologisch nach 11-wöchiger Exposition

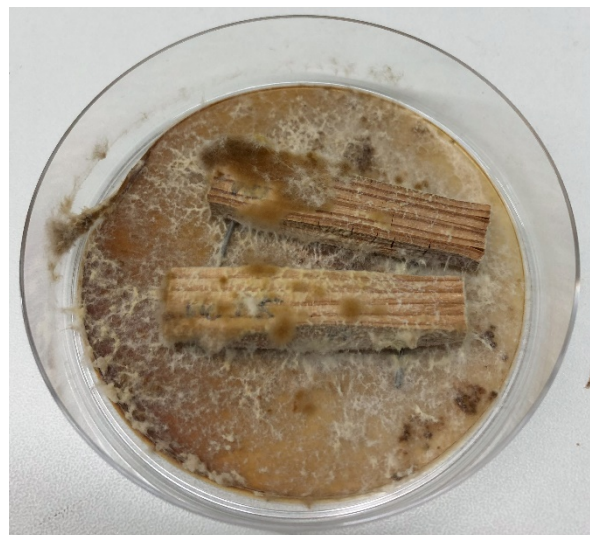


Abbildung 9: Proben von Tanne normal nach 11-wöchiger Exposition