

Résumé

Les principales propriétés de l'aubier d'épicéa bleui ont été étudiées pour contrôler son aptitude à être utilisé comme coffrage de façade enduite dans trois séries de tests.

Pour chaque série, 19 troncs ont été abattus dans la forêt de Stammerberg (ZH). La récolte de bois a eu lieu à différentes saisons et après des périodes plus ou moins longues d'infestation par les bostryches. En outre, des lamelles provenant de la production des partenaires industriels ont été utilisées.

Un premier lot d'expériences concerne les propriétés mécaniques, physiques et biologiques du bois jauni par les scolytes ont été déterminées et les résultats ont été discutés en relation avec le moment de l'infestation par les scolytes. Dans le second on a vérifié si le blanchiment chimique, les ondes électromagnétiques et les ultrasons ou un traitement par la chaleur se prêtaient à la décoloration superficielle des parties décolorées. Dans le dernier lot, des échantillons de laboratoire et de production industrielle ont été enduits et leur qualité a été comparée à l'aide de différents paramètres. Le comportement des lamelles enduites a été évalué au cours d'une exposition artificielle aux UV et d'une année d'exposition aux intempéries, et les différences éventuelles entre le bois bleui par les coléoptères et les échantillons de référence en épicéa sain ont été discutées.

Le bois infesté, qui a été récolté et transformé immédiatement, n'a pas montré d'anomalies dans les propriétés mécaniques. En revanche, le bois d'épicéa récolté plus tard (2 à 3 mois après l'infestation par les scolytes) présentait une densité légèrement inférieure, une nette diminution de la résistance à la flexion par choc, une élasticité de surface réduite et un nombre remarquable d'échantillons présentant un comportement fragile à la rupture en flexion 3 points. La plus grande fragilité du bois jauni par les coléoptères est un indice clair d'un début de dégradation de la substance par des champignons lignivores. Des examens microscopiques ont confirmé la présence de basidiomycètes aussi bien dans l'aubier bleui que dans l'aubier non bleui bois attaqué par les scolytes.

L'absorption d'eau liquide, tant par le bois de bout que par les surfaces radiales et tangentielles, était fortement augmentée dans le cas du bois de scolyte bleui. Le comportement de retrait/gonflement du bleui par les bostryches ainsi que l'adsorption/désorption dans la zone d'humidité hygroscopique étaient en revanche comparables à ceux du matériau de référence.

Dans un environnement humide, le bois bleui par les bostryches était plus sensible aux moisissures superficielles. Il a été plus fortement dégradé par le mэрule que le matériau de référence non bleui. Sur les surfaces fraîchement rabotées et bleuies, le nombre de spores fongiques capables de germer était légèrement plus élevé que sur le matériau de référence non bleui. La contamination de l'air ambiant par des spores de champignons capables de germer pendant le traitement mécanique bleui par les bostryches est considérée comme faible.

Les procédés de blanchiment chimique testés, pour la plupart connus dans la production de cellulose, ainsi que les méthodes basées sur les ondes électromagnétiques ou les ultrasons, n'ont pas permis de décolorer de manière satisfaisante la surface du bois jauni par les coléoptères. En principe, l'accès à la mélanine dans les hyphes des champignons de bleuissement était insuffisant pour tous ces procédés et les méthodes n'étaient donc pas adaptées au bois massif jauni.

Le processus d'étuvage testé a permis d'améliorer la coloration, mais pas dans la même mesure que le traitement thermique à des températures plus élevées effectué à l'Empa. Cependant, le processus d'étuvage a également entraîné un moins bon comportement des échantillons face à l'eau liquide et les a rendus plus sensibles à la dégradation par les agents pathogènes de la pourriture brune. C'est pourquoi cette méthode ne semble convenir que partiellement pour le bois utilisé en extérieur.

Un bref traitement thermique dans un four à environ 230°C et la coloration brun foncé superficielle du bois qui en résulte ont permis d'obtenir un aspect plus uniforme dans lequel les zones décolorées n'étaient presque plus visibles. En plus d'une coloration acceptable, le traitement thermique a également entraîné une réduction de l'absorption d'eau liquide par le bois bleui par les bostryches, qui se situe donc à nouveau dans la fourchette des échantillons de référence. Il faudrait déterminer dans quelle mesure l'application du traitement thermique peut être intégrée dans le processus de production et si elle serait économiquement rentable.

Sur le bois bleui par les bostryches, aucune différence pratique n'a été constatée pendant l'application et le séchage, ni en ce qui concerne les épaisseurs de couche sèche formées, les profondeurs de pénétration et l'adhérence à sec des revêtements testés. L'aspect visuel était seulement un peu plus irrégulier pour les revêtements peu pigmentés, car les zones décolorées étaient visibles à travers le revêtement.

Sur tous les échantillons de bois bleui traités par un revêtement, on a mesuré une absorption d'eau nettement plus élevée pendant le stockage à l'eau froide et donc un coefficient d'absorption d'eau plus élevé que sur les échantillons de référence correspondants sans bleuissement. Cela s'est également confirmé lors de l'exposition aux intempéries, où les échantillons bleuis présentaient tout au long de l'année une humidité du bois jusqu'à 4% plus élevée.

Après une année d'exposition aux intempéries, aucune différence significative n'a pu être constatée dans la performance globale des revêtements sur l'épicéa bleui ou non bleui. La position des cernes de croissance des échantillons ainsi que l'orientation des intempéries (NO ou SO) ont été les facteurs déterminants pour l'état général des lamelles enduites jusqu'à présent. Seul le revêtement minéral pigmenté en blanc présentait, après 1 ½ an d'exposition aux intempéries, de légères anomalies telles que des fissures et des décolorations dans la zone des zones bleuies sous-jacentes.

Lors de l'utilisation du bleu comme élément décoratif dans l'aménagement intérieur, il faut s'attendre à de légères modifications de la couleur, car les surfaces en bois, qu'elles soient ou non recouvertes d'un revêtement transparent, foncent légèrement sous l'effet des rayons du soleil. Les zones bleuies peuvent ainsi perdre leur dominance visuelle.

Sur la base des connaissances acquises jusqu'à présent, on peut résumer que l'utilisation du bois bleui par les bostryches comme coffrage de façade enduit est possible, mais pas de prédire avec certitude, pour le moment, si les durées de vie que sur du bois d'épicéa sain pourront être atteintes à long terme. C'est pourquoi les essais d'exposition aux intempéries seront poursuivis au-delà de la fin du projet, jusqu'à fin 2024.

L'utilisation du bois bleui par les bostryches non traité et bleui comme sous-construction d'un coffrage de façade doit être évaluée de manière critique, car il existe un risque possible de la dégradation par des champignons lignivores en raison de l'augmentation de l'humidité du bois.

Kurzfassung

In drei grossen Arbeitspaketen wurden die wesentlichen Materialeigenschaften von verblautem Käferholz (ausschliesslich Fichtensplintholz) und dessen Eignung als beschichtete Fassadenschalung untersucht.

Für die verschiedenen Testreihen wurden neunzehn Stämme aus dem Forst Stammerberg (ZH) geschlagen. Die Holzernte erfolgte zu verschiedenen Jahreszeiten und nach verschiedenen langen Perioden des Borkenkäferbefalls. Zusätzlich wurden Lamellen aus der Produktion der Industriepartner verarbeitet.

In einem ersten Arbeitspaket wurden die mechanischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des verblauten Käferholzes ermittelt und die Ergebnisse in Relation zum Zeitpunkt des Käferbefalls diskutiert. In einem weiteren Arbeitspaket wurde überprüft, ob sich chemisches Bleichen, elektromagnetische Wellen und Ultraschall oder eine Behandlung mit Hitze zum oberflächlichen Entfärben der verblauten Bereiche eignen. Im letzten Arbeitspaket wurden sowohl Laborproben als auch Proben aus der industriellen Produktion beschichtet und deren Qualität anhand verschiedener Parameter vergleichend diskutiert. Während künstlicher UV-Bestrahlung sowie einer einjährigen Freibewitterung wurde das Verhalten der beschichteten Lamellen bewertet und mögliche Unterschiede zwischen verblautem Käferholz und Referenz-Proben aus gesunder Fichte diskutiert.

Käferholz, welches umgehend geerntet und weiterverarbeitet wurde, zeigte keine Auffälligkeiten in den mechanischen Eigenschaften. Fichtenholz dagegen, welches zu einem späteren Zeitpunkt nach dem Borkenkäferbefall (2-3 Monate) geerntet wurde, zeigte eine leicht geringere Dichte, eine deutliche Abnahme der Schlagbiegefestigkeit, eine reduzierte Oberflächenelastizität und eine auffällige Anzahl von Proben mit sprödem Bruchverhalten in der 3-Punkt-Biegung. Vor allem die höhere Sprödigkeit des verblauten Käferholzes ist ein deutlicher Hinweis auf einen beginnenden Substanzabbau durch holzzerstörende Pilze. Mikroskopische Untersuchungen bestätigten die Anwesenheit von Basidiomyceten sowohl im verblauten als auch im noch unverblauten Splint des Käferholzes.

Die Aufnahme von Flüssigwasser sowohl über das Hirnholz als auch über die Radial- und Tangentialflächen war bei verblautem Käferholz stark erhöht. Das Schwind-/Quellverhalten des verblauten Käferholzes als auch die Adsorption / Desorption im hygrokopischen Feuchtebereich waren dagegen vergleichbar mit denen des Referenzmaterials.

Verblautes Käferholz war in feuchter Umgebung anfälliger auf oberflächlichen Schimmelbefall. Durch den Balken-Blättling wurde es in stärkerem Masse abgebaut als unverblautes Referenzmaterial. Auf frisch gehobelten, verblauten Oberflächen war die Anzahl der keimfähigen Pilzsporen im Vergleich zum nicht verblauten Referenzmaterial leicht erhöht. Die Belastung der Umgebungsluft mit keimfähigen Pilzsporen während der mechanischen Bearbeitung von verblautem Käferholz ist als gering einzustufen.

Die getesteten chemischen Bleichverfahren, welche zumeist aus der Zellstoffproduktion bekannt sind, und auch die Methoden, welche auf elektromagnetischen Wellen oder Ultraschall beruhen, führten nicht zu einer befriedigenden oberflächlichen Entfärbung des verblauten Käferholzes. Grundsätzlich war bei all diesen Verfahren der Zugang zum Melanin in den Hyphen der Bläuepilze ungenügend und die Methoden daher für verblautes Vollholz nicht geeignet.

Der getestete Dämpfprozess führte zu einer verbesserten Farbgebung, jedoch nicht im gleichen Umfang wie die an der Empa durchgeführte Hitzebehandlung mit höheren Temperaturen. Der Dämpfprozess führte jedoch gleichzeitig zu einem schlechteren Verhalten der Proben gegenüber Flüssigwasser und machte sie anfälliger für den Abbau durch Braunfäule Erreger. Daher scheint diese Methode für Holz in der Aussenanwendung nur bedingt geeignet.

Eine kurze Hitzebehandlung im Ofen bei ca. 230°C und die damit verbundene oberflächliche dunkelbraune Färbung des Holzes führte zu einem gleichmässigeren Erscheinungsbild, bei dem die verblauten Bereiche kaum mehr sichtbar waren. Neben der akzeptablen Farbgebung führte die thermische Behandlung auch zu einer Verringerung der Flüssigwasseraufnahme des verblauten Käferholzes und die damit wieder im Bereich der Referenz-Proben lag. Inwieweit sich die Anwendung der Hitzebehandlung in den Produktionsablauf integrieren lässt und ob sie wirtschaftlich rentabel wäre, müsste abgeklärt werden.

Am Käferholz konnten keine praxisrelevanten Unterschiede während der Applikation und Trocknung sowie bei den gebildeten Trockenschichtdicken, den Eindringtiefen und der Trockenhaftung der getesteten Beschichtungen festgestellt werden. Das optische Erscheinungsbild war lediglich bei den gering pigmentierten Beschichtungen etwas unruhiger, da die verblauten Bereiche durch die Beschichtung sichtbar waren.

An allen verblauten Beschichtungsproben wurde eine wesentlich höhere Wasseraufnahme während der Kaltwasserlagerung und somit auch ein höherer Wasseraufnahmekoeffizient als bei den entsprechenden Referenz-Proben ohne Bläue gemessen. Dies bestätigte sich auch in der Freibewitterung, in der die verblauten Proben während des gesamten Jahres bis zu 4% höhere Holzfeuchten aufwiesen.

Nach einem Jahr Freibewitterung waren keine relevanten Unterschiede in der Gesamtperformance der Beschichtungen auf verblauter oder unverblauter Fichte feststellbar. Die Jahrringstellung der Proben als auch die Himmelsrichtung der Bewitterung (NO oder SW) waren die entscheidenden Einflussgrößen auf den bisherigen Gesamtzustand der beschichteten Lamellen. Lediglich die weiss pigmentierte mineralische Beschichtung zeigte nach 1 ½ Jahren Freibewitterung leichte Auffälligkeiten wie Risse und Verfärbungen im Bereich der darunterliegenden verblauten Bereiche.

Beim Einsatz von Bläue als gestalterisches Element im Innenausbau muss mit leichten Farbveränderungen gerechnet werden, da Holzoberflächen ohne als auch mit transparenter Beschichtung unter Sonneneinstrahlung generell etwas nachdunkeln. Verblaute Bereiche können dadurch an visueller Dominanz verlieren.

Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen kann man zusammenfassen, dass der Einsatz von ver-blautem Käferholz als beschichtete Fassadenschalung möglich ist. Ob langfristig die gleichen Standdauern wie auf gesundem Fichtenholz erreicht werden können, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht sicher prognostiziert werden. Daher werden die Freibewitterungsversuche über das Projektende hinaus, bis Ende 2024 weitergeführt.

Kritisch zu bewerten ist der Einsatz von unbehandeltem, verblautem Käferholz als Unterkonstruktion einer Fassadenschalung, da hier ein mögliches Risiko aufgrund erhöhter Holzfeuchte und dem Abbau durch holzerstörende Pilze besteht.