

Holz als Motor – Beschleunigung der hygromechanischen Aktuation von Holzbilayern

Wood as a motor – Acceleration of the hygrome- chanical actuation of wood bilayers

Projektleiter:
Project leader:
Prof. Dr. Detlef Krug

Projektbearbeiter:
In-charge:
Martin Hielscher,
Dr. Martin Fischer

Fördermittelgeber:
Co-funded by:
BMWK

Projekträger:
Project management:
EURONORM GmbH

Förderprogramm:
Funding programme:
INNO-KOM

Förderkennzeichen:
Funding code:
49VF210011

Laufzeit:
Term:
01.01.2021 – 29.02.202

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Mit der immer stärkeren Nutzung von Holz erfährt dieser Rohstoff vielfältige Anwendungsgebiete. Jedoch wirkt sich Quellen und Schwinden problematisch auf viele Einsatzbereiche aus. Die Anisotropie sorgt für ein Verziehen und Verwerfen von Brettern und Bauteilen. Weitgehend unberücksichtigt bleibt bis jetzt der Ansatz, das Quellen und Schwinden als wertvolle Materialeigenschaft anzusehen und funktional in innovativen Anwendungen einzusetzen. So ließe sich Holz aufgrund der Dimensionsänderungen als feuchtegetriebener Motor verwenden. In vorangegangenen Studien konnte gezeigt werden, dass sich durch Anfertigung von Holzbilayern die Feuchteänderungen in berechenbare, reversible Krümmungsänderungen umsetzen lassen (Grönquist et al. 2018; Grönquist 2020; Rüggeberg und Burgert 2015). Limitierend ist dabei die diffusionsbedingt niedrige Holzfeuchteänderungsrate. Durch strukturelle und chemische Modifikationen sollen Diffusionswege im Holz verkürzt, die Porosität der Zellwand und die Wasseraufnahmekapazität erhöht werden, um eine signifikante Steigerung der Feuchteänderungsrate zu erreichen. Eine weitergehende Analyse an Holzbilayern als Aktuatoren stellt sicher, dass eine Umsetzung in eine gesteigerte Aktuationsrate erfolgt.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

With the ever-increasing use of wood, this raw material is experiencing a wide range of applications. However, swelling and shrinkage has a problematic effect on many areas of use. Anisotropy causes warping and distortion of boards and components. So far, the approach of considering the swelling and shrinkage as a valuable material property and using it functionally in innovative applications has been largely ignored. This would allow wood to be used as a moisture-driven motor due to its dimensional changes. Previous studies have shown that by producing wood bilayers, moisture changes can be converted into calculable, reversible curvature changes (Grönquist et al. 2018; Grönquist 2020; Rüggeberg and Burgert 2015). The diffusion-related low moisture change rate in wood is a limiting factor here. Structural and chemical modifications should shorten diffusion paths in the wood, increase the porosity of the cell wall and the water absorption capacity, in order to achieve a significant increase in the moisture change rate. Further analysis of wood bilayers as actuators ensures that an increase in the actuation rate occurs.

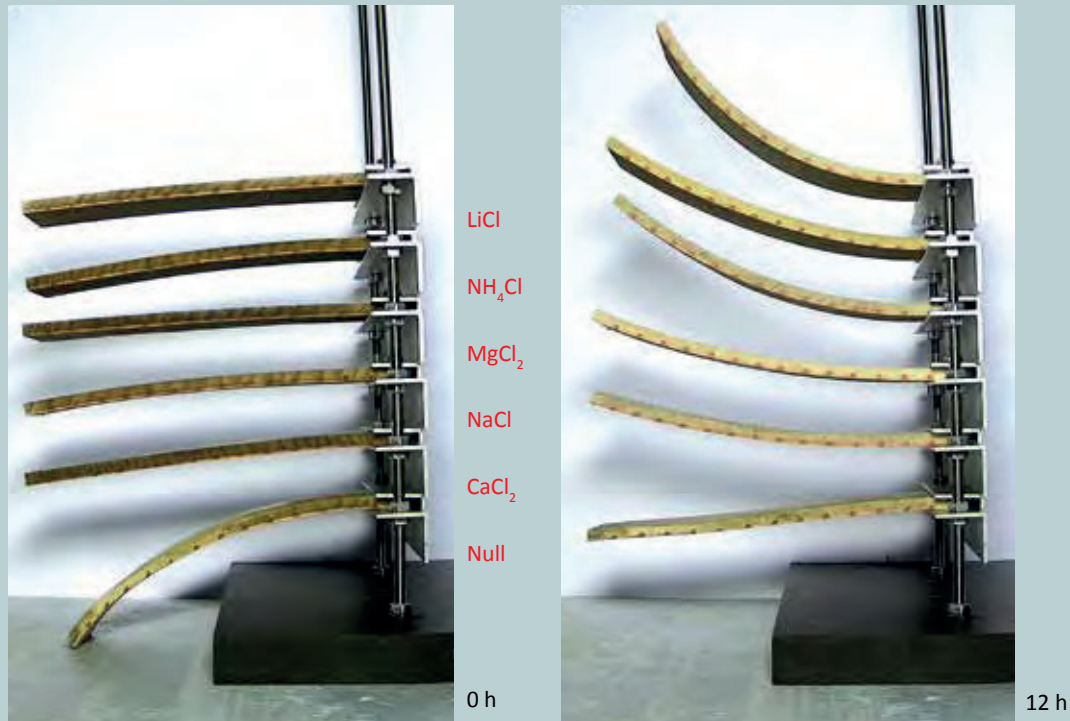


Abb. 1: Einzelaufnahmen nach Beginn der Desorption (rel. Luftfeuchte von 85% auf 35%) und nach 12 h

Fig. 1: Individual images after the start of desorption (relative humidity reduced from 85% to 35%) and after 12 hours

Im Einzelnen wurden im beantragten Vorhaben folgende Zielstellungen bearbeitet:

- Mechanische Modifikation zur Verkürzung der Diffusionswege durch das Einbringen von Nuten oder Löchern,
- Chemische Modifikation mit dem Ziel der höheren und/oder schnelleren Holzfeuchteänderung.

Zur Bewertung der Zielstellungen wurde das Probenmaterial einem Wechselklima zwischen 35% und 85% rel. Luftfeuchte bei einer Temperatur von 20°C ausgesetzt.

Specifically, the following objectives were addressed in the proposed project:

- Mechanical modification to shorten the diffusion paths by introducing grooves or holes,
- Chemical modification with the aim of achieving greater and/or faster changes in wood moisture.

To evaluate the objectives, the sample material was subjected to a changing climate between 35% and 85% relative humidity at a temperature of 20°C.

VORGEHENSWEISE

Aus luftgetrockneten Buchenholzbohlen wurden Schichtproben mit den Maßen 280 x 150 x 4 mm³ (Longitudinal x Radial x Tangential) und Probewürfel (5 x 10 x 10 mm³, LRT) hergestellt. Die mechanischen Modifikationen erfolgten mit einer Eindringtiefe von 3 mm. Die Proben wurden für erste Versuche zur Bestimmung der Feuchteänderungsrate in einem DVS-Messgerät (Dynamic Vapour Sorption) untersucht. Nach Abschluss der Voruntersuchungen erfolgte die Auswahl der durchzuführenden Modifikationen für die Bilayerherstellung entsprechend der maximalen Feuchteänderungsrate als Zielgröße.

Die tatsächliche Aktuation entsprechend hergestellter Bilayer war Gegenstand der Hauptuntersuchungen. Hierfür wurden Bilayer aus einer modifizierten Aktivschicht und einem unmodifizierten Furnierstreifen als Passivschicht mit einem 1K-PUR Klebstoff miteinander verklebt. Ein um 90° versetzter Faserverlauf sperrt die Aktuation des Bilayers auf der Furnierseite, wodurch sich bei Feuchteänderung nur die Aktivschicht verändert und eine Biegung des gesamten Bilayers hervorruft.

An den Varianten, die die größten Aktuationsraten zeigten, erfolgte abschließend eine Bestimmung der übertragbaren Kräfte zur Einordnung des technischen Anwendungspotentials.

ERGEBNISSE

Als Ergebnis der Sorptionsgeschwindigkeitsmessungen lassen sich folgende Aussagen treffen:

APPROACH

Air-dried beechwood planks were used to produce 280 x 150 x 4 mm³ (Longitudinal x Radial x Tangential) layered samples and test cubes (5 x 10 x 10 mm³, LRT). The mechanical modifications were carried out with a penetration depth of 3 mm. The samples were examined in a DVS (dynamic vapour sorption) measuring instrument for initial experiments to determine the moisture change rate. After completion of the preliminary investigations, the modifications to be carried out for bilayer production were selected according to the maximum moisture change rate as the target value.

The actual actuation of bilayers produced in this way was the subject of the main investigations. For this purpose, bilayers consisting of a modified active layer and an unmodified veneer strip as a passive layer were bonded to each other with a 1C-PUR adhesive. A 90° fibre angle blocks the actuation of the bilayer on the veneer side, causing only the active layer to actuate when the moisture level changes, resulting in a bending of the entire bilayer.

The bilayer variants that showed the highest actuation rates were then used to determine the transferable forces in order to classify the technical application potential.

RESULTS

The following statements can be made as a result of the sorption speed measurements:

- with the same surface enlargement, the groove-milled samples absorb moisture faster than the samples with hole drilling.
- with the same surface enlargement, the sorption speed increases with a reduction of the bridge between the cutouts

- Bei gleicher Oberflächenvergrößerung nehmen die Proben mit Nutfräsungen schneller Feuchte auf als die Proben mit Lochbohrungen.
- Bei gleicher Oberflächenvergrößerung steigt die Sorptionsgeschwindigkeit mit Verminderung der Stegbreite.

Die Salzbehandlung erhöhte das Sorptionsverhalten. Salze mit hoher Hygroskopizität zeigten bei den DVS-Messungen die größte und schnellste Gewichtszunahme in den Betrachtungszeiträumen von 6 h und 12 h. Daraus ergab sich die vornehmliche Verwendung von Chloriden für die Salzimprägnierung zur Bestimmung der Aktuationsrate (Abb.1).

Nach der numerischen Bestimmung der Aktuationsrate lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- hohe Wasserdampfsorption sorgt im Betrachtungszeitraum nicht zwangsläufig für eine hohe Aktuationsrate, da zuerst durch das Salz hygroskopisch gebundenes Wasser abgegeben wird,
- Fasersättigungsbereich (ca. 30 % Holzfeuchte) wird durch die Salzimprägnierung nicht beeinflusst,
- Dadurch ist es möglich, eine luftfeuchte-spezifische Aktuation mit Hilfe entsprechender Salze einzustellen.

Bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen der für eine Anwendung notwendigen Kraftübertragung und der mechanischen Modifikation zeigte sich ein nahezu linearer Einfluss des Querschnitts. Durch die Verwendung von salzimprägnierten Aktivschichten und zusätzlicher mechanischer Perforation konnte dieser Effekt abgeschwächt werden. Bilayer in der Dimension von $97 \times 150 \times 5 \text{ mm}^3$ konnten eine Kraft von bis zu 50 N übertragen.

Salt treatment increased the sorption behaviour. Salts with high hygroscopicity showed the greatest and fastest weight increase in the DVS measurements during the observation periods of 6 h and 12 h. This resulted in the preferential use of chlorides for salt impregnation to determine the rate of actuation (Fig. 1).

After the numerical determination of the actuation rate, the following statements can be derived:

- high water vapour sorption does not necessarily lead to a high actuation rate during the period under consideration, that water bound hygroscopically is released first by the salt,
- fibre saturation area (approx. 30 % wood moisture content) is not influenced by the salt impregnation,
- this allows to adjust a humidity-specific actuation with the help of appropriate salts.

When considering the correlation between the force transmission necessary for an application and the mechanical modification, an almost linear influence of the cross-section was observed. This effect could be attenuated by the use of salt-impregnated active layers and additional mechanical perforation. Bilayers in the dimension of $97 \times 150 \times 5 \text{ mm}^3$ could transmit a force of up to 50 N.