

## 3DP Biowalls

Additive manufacturing of fully-recyclable wall systems made from renewable materials

<b>Programm / Ausschreibung</b>	THINK.WOOD, THINK.WOOD Innovation, THINK.WOOD Innovation - Holz als Werkstoff/Holzbaustoff	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.10.2022	<b>Projektende</b>	28.02.2026
<b>Zeitraum</b>	2022 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	41 Monate
<b>Keywords</b>	biobased construction material, renewable construction material, circular economy in construction, additive manufacturing, automated construction, recycling, cradle-to-cradle		

### Projektbeschreibung

Inhalt des Projektes ist, forschungsbasiert einen robotergestützten, additiven Herstellungsprozess (3D Druck) für Wandbauteile mit biobasierten Rohstoffen zu entwickeln, wobei die Rohstoffe vorwiegend aus Nebenströmen der Papier-, Stärke- und Sägeindustrie stammen. Gedruckt wird eine Mischung aus Lignin, Stärke und Sägespäne, entweder in Pulverform oder mit Hilfe eines Granulats als Zwischenprodukt. Die zugrundeliegende Problemstellung betrifft vier Themenfelder: (1) Die weltweite Verknappung nicht erneuerbarer und erneuerbarer Rohstoffe (2) die derzeitige hauptsächliche Verwendung von anorganischen Baustoffen (Beton und Stahl) im Bauwesen sowie die (3) bis dato noch ineffiziente Nutzung sowie auch fehlende Kreislaufansätze bei der Verwendung nachwachsender Rohstoffe und (4) die niedrige Produktivität in der Bauindustrie.

Es gibt dabei zwei übergeordnete Ziele im Rahmen des beantragten F&E Projektes: (1) die Entwicklung eines biobasierten, vollständig kreislauffähigen Werkstoffs, der ausschließlich aus biobasierten Rohstoffen vorzugsweise aus Nebenströmen (z.B. der Papier-, und Sägeindustrie) besteht und (2) die Entwicklung eines für die Verwendung dieses Materials geeigneten robotergestützten, additiven Herstellungsprozesses für Wandbauteile. Durch die Kombination des neuartigen Werkstoffes und des additiven Herstellungsprozesses kann ein enormer Technologiesprung bei der Verwendung nachwachsender Rohstoffe gegenüber dem momentanen Stand der Technik und der Wissenschaft erreicht werden. Holzabfälle werden direkt ohne aufwendige Zwischenbearbeitungsschritte verarbeitet. Durch die Vermengung mit dem entwickelten biobasierter Klebstoff (Biomix) und ggf. weiteren Additiven, die unterschiedliche Modifikationen wie eine bessere Wasser- und Brandbeständigkeit ermöglichen, entsteht ein neuartiges Baumaterial. Durch die Verwertung der Sekundär-Rohstoffe als Grundmaterial erhöht sich der Ausnutzungsgrad des Rohholzes von derzeit max. 60% bei Schnittholz auf >90%.

Es wird erwartet, dass nach Abschluss des Projektes umfassende Kenntnisse über die Verarbeitung sowie auch zu den chemischen und mechanischen Eigenschaften von dem neuen Material vorliegen. Zudem werden umfassende Erkenntnisse über den additiven Fertigungsprozess von biobasierten Materialien sowie auch ein voll funktionsfähiges additives Fertigungswerkzeug für einen Industrieroboter für Wände bis 200mm Dicke vorhanden sein. Weiters werden umfassende Ökobilanzdaten vorliegen, die die Rohstoffversorgung und den Transport (nach EN 15804: A1-A2), den Herstellungsprozess (A3), den Rückbau (C1) sowie auch eine Prognose für die Nutzungsphase (B) beinhalten. Als Endergebnis wird ein

vollmaßstäblicher Demonstrator mit 3 m Länge und 3 m Höhe vorhanden sein.

Mit diesem Projekt wird eine vollkommen neue Dimension in Bezug auf automatisiertes, kreislauffähiges, biologisches ressourceneffizientes Bauen erreicht werden.

## **Abstract**

The content of the project is to develop a research-based, robotic, additive manufacturing (3D printing) process for wall components using bio-based raw materials, with the raw materials coming primarily from by-products of the paper, starch and sawmill industries. A mixture of lignin, starch and sawdust is printed, either in powder form or using a granulate as an intermediate product. The underlying problem concerns four issues: (1) the worldwide shortage of non-renewable and renewable raw materials (2) the current main use of inorganic building materials (concrete and steel) in the construction industry as well as the (3) to date still inefficient use as well as also missing circular approaches in the use of renewable raw materials and (4) the low productivity in the construction industry.

The two overarching objectives of the proposed R&D project are: (1) Development of a bio-based, fully recyclable material consisting exclusively of by-products of the paper, starch and sawmill industries and (2) Development of a robotic additive manufacturing process for wall components suitable for the use of the developed material. The combination of the novel material and the additive manufacturing process, which allows a radical simplification of the production of individual components, can result in an enormous technological leap in the use of renewable resources compared to the current state of the art and practice. Wood waste could be processed directly without complex intermediate processing steps. By mixing it with the developed "biomix" (biological glue) and, if necessary, other additives, enabling different modifications such as better water or fire resistance, a new type of building material is created. Based on previous research mixing all components in a dry state is possible, therefore allowing for a dry extrusion before water is added as final step before compression under additional heat treatment. By using only by-products of the wood industry, the degree of utilisation can be increased from currently max. 60% (for sawn timber) to >90%.

With the completion of the research project, comprehensive knowledge on the production processes as well as the chemical and mechanical properties of the new material will be available. This expertise will be supplemented by the acquired knowledge on the additive manufacturing process using bio-based materials and a fully functional additive manufacturing tool for mounting on industrial robots (and also suitable for gantry systems). The fabrication of up to 200mm thick walls will be possible. Furthermore, extensive LCA data will be available, considering raw material supply and transport (according to EN 15804: A1-A2), the manufacturing process (A3), deconstruction and demolition (C1) as well as a forecast for the use stage (B). The results will be shown within a full-scale 3m long and 3m high demonstrator wall.

With this project, a completely new dimension in terms of automation, recyclability, and biological resource-efficient construction will be reached.

## **Endberichtkurzfassung**

Das Forschungsprojekt 3DP Biowalls hatte zum Ziel, einen robotergestützten additiven Herstellungsprozess für recyclingfähige Wandbauteile aus biobasierten Materialien zu entwickeln. Die eingesetzten Rohstoffe stammen überwiegend aus Nebenströmen der Säge- und Papierindustrie, demnach momentan nicht höherwertig genutzte industrielle Reststoffe. Durch die stoffliche Weiternutzung, anstatt diese thermisch zu verwerten kann das temporär gespeicherte CO<sub>2</sub> längerfristig gebunden und ein wichtiger Beitrag zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks im Bauwesen geleistet werden.

Ein zentraler Forschungsschwerpunkt lag auf der Entwicklung und Optimierung der biobasierten Materialrezepturen. Die

Basisrezeptur setzt sich aus Sägespänen, Lignosulfonat und Stärke zusammen. Weiters wurden insbesondere thermisch aktivierte bzw. chemisch modifizierte Stärken sowie weitere alternative biobasierte Bindemittel wie niedermolekulares Carboxymethylcellulose (CMC) und Polyvinylalkohol (PVA) untersucht. Die Zusammensetzung, sowie die Herstellungsrahmenbedingungen wie Pressdruck, Presstemperatur und Presszeit wurden systematisch variiert, um deren Einfluss sowohl auf die Verarbeitbarkeit im additiven Fertigungsprozess als auch auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile, insbesondere die Druckfestigkeit und Steifigkeit, zu analysieren.

Ein wesentliches technisches Highlight des Projektes war der erfolgreiche Druck eines vollmaßstäblichen rund zwei Meter langen, 25cm dicken und 110cm hohen Demonstrators mit Hilfe der BOKU Roboteranlage. Die wesentlichste Basis dafür war der in mehreren Schritten neu entwickelte Endeffektor. Damit konnte ein wichtiger Schritt in Richtung einer Übertragung des Material- und Herstellungs Konzeptes in einen baurelevanten Maßstab gegangen werden.

Im abschließenden Projektabschnitt wurden die Wärmeleitfähigkeit sowie das Brandverhalten erforscht. Zudem wurde ein reversibel-chemisches Klebkonzept untersucht, das zusätzliche Potenziale für ein möglichst hochwertiges Recycling eröffnet. Die Ergebnisse belegen, dass ein geschlossener Materialkreislauf grundsätzlich realisierbar ist, jedoch genau abgestimmte Aufbereitungsparameter notwendig macht.

Begleitend wurde während des gesamten Projektverlaufs eine kontinuierliche ökologische Bewertung mit Fokus auf den Indikator Treibhauspotential (Global Warming Potential) und Energieverbrauch durchgeführt. Die Systemgrenzen umfassten die Phasen A1–A5 sowie den Recyclingprozesses (C1-C3). Bewertet wurden sowohl die verwendeten Materialien in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen als auch der Produktionsprozess. Im Zuge des Projektverlaufs konnte der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in der Produktion pro gedrucktes Volumen (z.B. einer Wand) deutlich reduziert werden. Diese Verbesserungen sind insbesondere auf materialeitige Anpassungen und Prozessoptimierungen zurückzuführen, die im Zuge der Projektbearbeitung umgesetzt wurden. In der Analyse wurden sowohl Vergleiche mit konventionellen Wandaufbauten durchgeführt als auch das Recyclingpotenzial der entwickelten Biowall-Elemente berücksichtigt.

Die Projektergebnisse zeigen insgesamt, dass ein robotergestützter additiver Herstellungsprozess für biobasierte Wandbauteile technisch realisierbar ist. Gleichzeitig verdeutlichen die Arbeiten, den weiteren Forschungsbedarf. Dazu zählen insbesondere die Optimierung der Materialparameter, die Verbesserung der Homogenität des Materialaustrags, die Integration der Mikrowellen-Erwärmung in den Druckkopf sowie die Sicherstellung einer kontinuierlichen und prozessstabilen Materialzufuhr. Diese Fragestellungen bilden die Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten und eine mögliche industrielle Skalierung des entwickelten Verfahrens.

Die Ergebnisse konnten bereits in mehreren wissenschaftlichen Veröffentlichungen in internationalen Q1-Journalen sowie zu Konferenzbeiträgen, Bachelor- und Masterarbeiten veröffentlicht werden.

## **Projektpartner**

- AustroCel Hallein GmbH
- Swedish University of Agricultural Sciences Department of Forest Biomaterials and Technology
- Universität für Bodenkultur Wien
- RUBNER HOLZINDUSTRIE Gesellschaft m.b.H

- ROBOTIX Automatisierungstechnik G.m.b.H.