

## Entwicklung der technologischen und stofflichen Grundlagen für additive Fertigungsverfahren mit einem Holzanteil von 90 % und mehr

### Development of the Technological and Material basis for Additive Manufacturing Processes with a Wood Content of 90 % and More

**Projektleiter**

**Project leader:**

Henry Burkhardt

**Projektbearbeiter**

**Persons in-charge:**

Henry Burkhardt

**Fördermittelgeber**

**Co-funded by:**

BMW i (INNO-KOM-Ost)

Die generative bzw. additive Fertigung (AF) stellt eine Urformmethode dar, bei der ein Bauteil durch lokales Zufügen von Aufbau-material generiert wird, ohne dass ein form-spezifisches Werkzeug eingesetzt wird. Es be-stehen dadurch keine werkzeugspezifischen Geometrie-einschränkungen. Außerdem er-möglicht sie eine hohe Individualisierung von Bauteilen und bereits ab Losgröße 1 eine wirtschaftliche Fertigung, da die Herstellung teurer Formwerkzeuge entfällt.

Die Entwicklungen in der AF gehen weg von der Darstellung von Prototypen und Model-len und hin zur Erzeugung von individuell designten Endprodukten (Breuninger et al. 2013). Auch Holzpartikel können dafür ein günstiges und vor allem natürliches Aufbau-material sein.

Materialseitig konzentrierten sich die Ent-wicklungen bei den Verfahren der AF in den letzten Jahren auf die Werkstoffgruppen Metalle, Kunststoffe und Keramiken (Gause-meier et al. 2013). Im Vergleich dazu kommt Holz bisher kaum zum Einsatz. Den ersten in-dustriellen Ansatz, Holz in der AF zu nutzen, stellt das für das Fused Deposition Mode-ling-Verfahren (FDM) entwickelte Filament „LayWood“ dar (N.N. 2015). Inzwischen existieren für dieses AF-Verfahren mehrere Filamente mit Holzanteil. Dabei handelt es sich um Holz-Thermoplast-Verbunde mit ver-schiedenen Holzpartikelanteilen zwischen 15 und 40 Gew.-%. Das Zusetzen der Düse des Extruders sowie Ungleichmäßigkeiten im Schichtaufbau limitieren den Anteil an Holz-partikeln im Holz-Thermoplast-Verbund.

Generative or additive manufacturing (AM) is a primary forming method in which an ob-ject is generated by locally adding material without using a specific forming tool. There are no tool-related geometry restrictions. Furthermore, it allows a high degree of indi-vidualisation of components and economical production already from lot size 1, since the production of expensive forming tools is not necessary.

The developments in AM are moving away from the presentation of prototypes and models and towards the production of indi-vidually designed end products (Breuninger et al. 2013). Wood particles can be an in-expensive and, above all, natural building material for this purpose.

On the material side, developments in AM processes have concentrated in recent years on the material groups of metals, plastics and ceramics (Gausemeier et al. 2013). In comparison, wood has hardly been used so far. The first industrial approach to use wood in AM is the filament “LayWood” developed for the Fused Deposition Modelling (FDM) process (N.N. 2015). In the meantime, several filaments with wood content have come into existence for this AM process. These are wood-thermoplastic composites with wood particle contents of between 15 and 40 weight percent. Clogging of the extruder nozzle and unevenness in the layer structure limits the content of wood particles in the wood-thermoplastic composite.

Im FuE-Projekt wurden grundlegende stoffliche und prozesstechnische Voraussetzungen für die AF mit hohem Anteil an lignocellulosen Rohstoffen untersucht. Ziel war es, Wirkprinzipien der konventionellen Holzwerkstoffherstellung mit denen der AF zu verbinden, um neue Verfahren zu entwickeln, die einen hohen Holzanteil zulassen. Grundlegende Wirkprinzipien in der Holzwerkstoffherstellung sind die Auflösung des Holzes zu Strukturelementen, die Zugabe von Bindemitteln, das Fügen der Strukturelemente mittels Druck sowie die Zufuhr von Wärme zur Aushärtung des Bindemittels. Um diese Wirkprinzipien mit den technologischen Abläufen der AF zu verknüpfen, wur-

In the R&D project, basic material and process technology requirements for AM with a high content of lignocellulosic raw materials were investigated. The aim was to combine principles of conventional wood-based materials production with those of AM in order to develop new processes that allow a higher wood content. Basic principles in the production of wood-based materials are the dissolution of the wood into structural elements, the addition of binders, the joining of the structural elements by means of pressure and heat to cure the binder. In order to link these principles with the technological processes of AM, three new concepts for AM with wood-based materials were developed.

| <b>Selektives Heißpressen (SHP)</b>                                                                                                                                                                               | <b>Selektives Beleimen (SB)</b>                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Extruderdeposition (EXD)</b>                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Erzeugen eines Holzpartikel-Bindemittel-Gemisches</li> <li>⇒ Bildung eines dünnen Vlieses</li> <li>⇒ Partielle Verdichtung</li> <li>⇒ Fixierung mittels Wärme</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Bildung eines dünnen Vlieses aus unbeleimten Partikeln</li> <li>⇒ Partielle Beaufschlagung des Vlieses mit Bindemittel</li> <li>⇒ Verdichtung des gesamten Vlieses</li> <li>⇒ Aushärtung des Bindemittels mittels Wärme</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Erzeugung eines Stranges aus Holzpartikeln und Bindemittel im Extruder</li> <li>⇒ Kontinuierliche oder segmentweise Positionierung und Ablage des Stranges</li> <li>⇒ Anpressen jeder Schicht</li> </ul> |

Tab. 1: Konzepte zur Additiven Fertigung mit Holzpartikeln als Aufbaumaterial

| <b>Selective hot-pressing</b>                                                                                                                                                                 | <b>Selective gluing</b>                                                                                                                                                                                                                         | <b>Wood extrusion deposition</b>                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Generating of a wood-particle/binder mix</li> <li>⇒ Making a thin mat</li> <li>⇒ Partial compression</li> <li>⇒ Fixation by applying heat</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Generating a thin mat from unglued particles</li> <li>⇒ Partial application of the binder to the mat</li> <li>⇒ Compression of the entire mat</li> <li>⇒ Curing the binder by applying heat</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Generating an extrudate of wood particles and binder in the extruder</li> <li>⇒ Continuous or segmental positioning and depositing of the extrudate</li> <li>⇒ Pressing on each layer</li> </ul> |

Tab. 1: Concepts for additive manufacturing with wood particles as building material

den drei neue Konzepte zur AF mit Holzwerkstoffen aufgestellt. Parallel dazu wurde ein Aufbaumaterial bestehend aus Holzpartikeln und einem Bindemittel entwickelt.

Beim selektiven Beleimen stellte sich die Durchdringung des Partikelvlieses mit Bindemittel als schwierig heraus und die Strangherzeugung im Extruder mit hohem Holzanteil konnte nicht erfolgreich durchgeführt werden. Im Gegenzug dazu erwies sich das selektive Heißpressen als das Verfahren mit dem höchsten Potenzial zur Realisierung eines hohen Holzanteils. Hierfür wurde eine Vorrichtung zum Einbau in die Ein-Etagen-Heißpresse des IHD entwickelt und baulich umgesetzt, mit deren Hilfe das selektive Heißpressen im Labor erfolgen konnte.

Die Vorrichtung ermöglicht die schichtweise selektive Verdichtung von Partikelvliesen unter Wärmezufuhr. Zwischen jedem Verdichtungsschritt kann die Pressform

In parallel, a build-up material consisting of wood particles and a binder was developed. During selective gluing, the penetration of the particle fleece with binder turned out to be difficult and the extrudate production in the extruder with a high wood content could not be carried out successfully. In contrast, selective hot-pressing proved to be the process with the highest potential for applying a high wood content. For this purpose, a device for installation in the single-daylight hot press of the IHD was developed and implemented. With the help of this device selective hot-pressing could be carried out in the laboratory.

The device enables the selective compaction of the particle mat layer-by-layer under heat supply. Between each compaction step, the press mould can be changed manually. Thus, objects can be built up step by step. Fine spruce shavings of a particle size of 0.15 mm

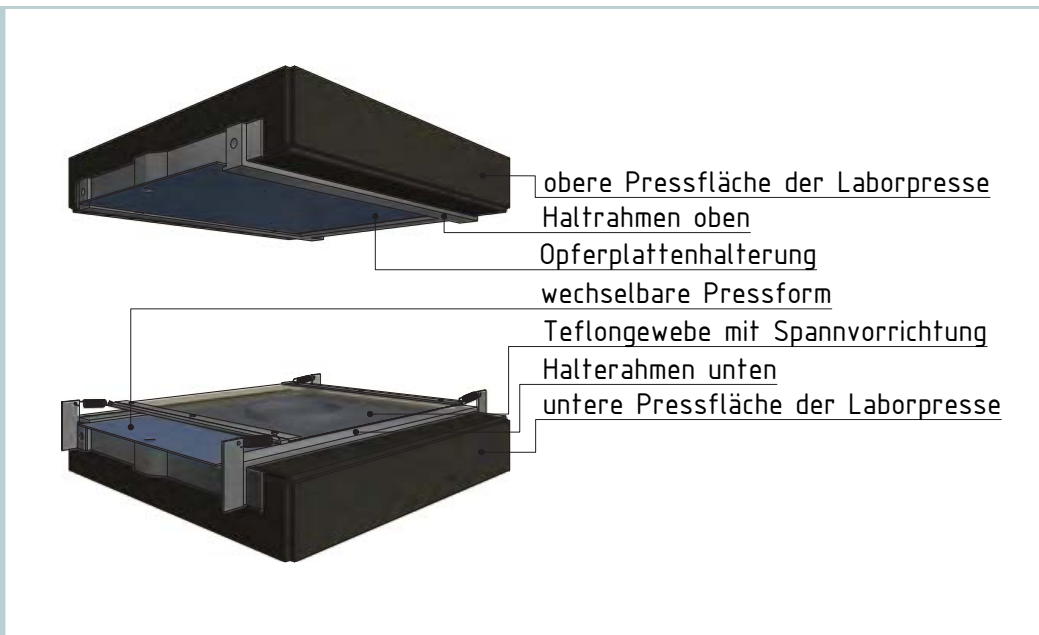


Abb. 1: Vorrichtung zum Nachstellen des selektiven Heißpressens in der Einetagenpresse des IHD  
 Fig. 1: Device for implementing the selective hot-pressing in the single-daylight press of the IHD



Abb. 2: Aus 20 Schichten mittels selektivem Heißpressen gefertigter Ring

Fig. 2: Ring made of 20 layers by way of selective hot-pressing

manuell verändert werden. So können Objekte schrittweise aufgebaut werden. Als Aufbaumaterial dienten vor allem feine Fichtenspäne mit einem D50 von 0,15 mm in der Breite und 0,74 mm in der Länge. Außerdem wurden thermomechanisch erzeugte Holzfasern aus Kiefer hinsichtlich ihrer Eignung als Aufbaumaterial untersucht. Ihre Neigung zur Agglomeration erwies sich jedoch als Hindernis bei ihrer Verwendung. Die Partikel wurden im Blender mit einem Bindemittel beaufschlagt. Als besonders positiv zeigte sich ein thermoplastischer Dispersionsklebstoff, der mit einem Anteil von 12 Ma% bezogen auf den Holzanteil eingesetzt wurde. Auf diese Weise gelang es, einfache Formen additiv zu fertigen. Somit konnte ein Proof-of-Principle für das selektive Heißpressen als technischer Lösungsansatz für die AF erarbeitet werden.

(D50) in width and 0.74 mm (D50) in length were mainly used as build-up material. In addition, thermomechanically produced wood fibres from pine were examined with regard to their suitability as build-up material. However, their tendency to agglomerate proved to be an obstacle in their use. The particles were treated with a binder in the blender. A thermoplastic dispersion adhesive, which was used with a proportion of 12% by mass in relation to the wood content, proved to be particularly well suited. In this way, it was possible to additively produce simple shapes. Thus, a proof-of-principle for selective hot-pressing as a technical solution for AM could be performed.