

# 3D-Druck von holzbasiertem Stützmaterial zur Integration in generative Betonfertigungsverfahren

## 3D Printing of Wood-based Support Material for Integration into Generative Concrete Manufacturing Processes

### Projektleiterin

**Project leader:**  
Julia Kaufhold

### Projektbearbeiter

**Person in-charge:**  
Johannes Kohl,  
Paul Blankenstein

### Fördermittelgeber

**Co-funded by:**  
BMEL (FNR)

### Projektpartner

**Project partner:**  
TU Dresden, Institut für  
Baustoffe

### AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Die extrusionsbasierte additive Fertigung bietet im Bausektor mit dem Beton-3D-Druck die Möglichkeit, neuartige Baukörpergeometrien ohne aufwendige Schalung rasch und kostengünstig zu realisieren. Gewisse Einschränkungen bestehen jedoch bei diesem relativ neuen Verfahren, da Überhangstrukturen nicht ohne Stützkörper gefertigt werden können (Abb. 1). Bei der Erstellung einer Hauswand kann beispielsweise ein Tür- oder Fenstersturz als vorgefertigtes Element auf die bis dahin gedruckten Wandelemente beidseitig aufgelegt werden, was jedoch einen zusätzlichen und unerwünschten Prozessschritt darstellt. Ein Lösungsansatz zur Vermeidung dieser schwer automatisierbaren Maßnahme ist die Verwendung von Stützmaterial, das kontinuierlich und in jeder Schicht des Beton-3D-Drucks abschnittsweise in die spätere Öffnung abgelegt wird. Nach Erreichen der gewünschten Höhe der Öffnung wird die nächste Lage aus hochfestem bzw. faserverstärktem Beton durchgehend gedruckt. Das Stützmaterial wird nach dem Erhärten rückstandsfrei entfernt. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen sollte eine vollständige Rezyklierbarkeit angestrebt werden. Ziel dieses als Machbarkeitsstudie angelegten Projektes war einerseits die Entwicklung eines für die genannten Anforderungen geeigneten, biogenen Werkstoffes auf Basis von Stärke und Holz und andererseits die Untersuchung und

### INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

With concrete 3D printing, extrusion-based additive manufacturing offers the construction sector the possibility of quickly and cost-effectively implementing new types of building geometries without the need for complex formwork. However, there are certain limitations with this relatively new process, as overhanging structures cannot be produced without supporting bodies (Fig. 1). When constructing a house wall, for example, a door or window lintel can be placed as a prefabricated element on both sides of the previously printed wall elements, but this represents an additional and undesirable process step. A solution to avoid this measure, which is difficult to automate, is the use of supporting material, which is continuously, and in each layer of the concrete 3D print, placed section by section into the later opening. After reaching the desired height of the opening, the next layer of high-strength or fibre-reinforced concrete is printed continuously. The support material is removed without residue after hardening. For ecological and economic reasons, complete recyclability should be aimed for. The objective of this project, which was designed as a feasibility study, was on the one hand to develop a biogenic material based on starch and wood that is suitable for the above-mentioned requirements and, on the other hand, to investigate and optimise its processing in terms of a sustainable recycling economy.

Optimierung seiner Verarbeitung im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.

### VORGEHENSWEISE

Bei der Verarbeitung im kontinuierlichen Prozess werden in den einzelnen Prozessabschnitten Förderung, Austragung und Konsolidierung jeweils spezifische Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften gestellt. Vor allem Pumpbarkeit, Extrudierbarkeit und Formstabilität nach dem Austrag sind hier relevant. Aufbauend auf der Analyse dieser Anforderungen an das Material in den einzelnen Prozessschritten wurden Versuche zur modellhaften Abbildung der jeweiligen Prozessschritte konzipiert und mithilfe der statistischen Versuchsplanung (DoE) gearbeitet.

So konnte durch rheologische Untersuchungen mittels Rotationsviskosimeter (Anton Paar MCR 502) das Fließverhalten der Stärkebasierten Stützmaterialmischung charakterisiert werden. Praxisnahe Austragversuche in einer neu entwickelten Apparatur stellten einen systematischen Zusammenhang zwischen der Materialzusammensetzung und der Fließgeschwindigkeit unter konstantem Austragsdruck her.

Aus den mithilfe der Austrageinheit hergestellten Probekörpersträngen wurden einzelne Segmente entnommen und in einer Universalprüfmaschine (TIRAtest24100) die Druckfestigkeit quer zur Austragsrichtung geprüft. Ebenso erfolgte die Untersuchung an Probekörpern unterschiedlicher Konsolidierungsgrade, um die Druckfestigkeit des ausgetragenen Werkstoffs in Abhängigkeit vom Trocknungsgrad zu bestimmen. Der Konsolidierung, d. h. der Erhöhung der mechanischen Belastbarkeit unter zu-

### APPROACH

During processing in a continuous process, specific requirements are placed on the material properties in the individual process sections of conveying, discharge and consolidation. Pumpability, extrudability and dimensional stability after discharge are particularly relevant here. Based on the analysis of these requirements on the material in the individual process steps, experiments for the model representation of the respective process steps were designed and elaborated with the help of statistical design of experiments (DoE).

Thus, rheological investigations using a rotational viscometer (Anton Paar MCR 502) were used to characterise the flow behaviour of the starch-based support material mixture. Practical discharge tests in a newly developed apparatus established a systematic relationship between the material composition and the flow rate under constant discharge pressure.

Individual segments were taken from the test specimen strands produced with the aid of the discharge unit, and the compressive strength transverse to the discharge direction was tested in a universal testing machine (TIRAtest24100). The test was also carried out on specimens of different degrees of consolidation in order to determine the compressive strength of the discharged material as a function of the degree of drying. Consolidation, i.e. the increase in mechanical strength with increasing physical drying of the material, is of great importance due to the high water content of more than 50 % by weight in the starting formulation. Thus, correlations between drying method, temperature, specimen geometry and material pretreatment were worked out.

nehmender physikalischer Trocknung des Werkstoffes, kommt aufgrund des hohen Wassergehalts von mehr als 50 Gew% in der Ausgangsrezeptur eine große Bedeutung zu. So wurden Zusammenhänge zwischen Trocknungsmethode, Temperatur, Probekörpergeometrie und Materialvorbehandlung erarbeitet.

## ERGEBNISSE

Alle untersuchten Mischungszusammensetzungen zeigten im vollständig trockenen Zustand bei den Druckfestigkeitsprüfungen ein Vielfaches der geforderten 42 kPa. Eine vollständige Trocknung des Holz-Stärke-Komposits steht jedoch einem raschen Druckfortschritt entgegen. Es konnte ebenso nachgewiesen werden, dass bei 42 kPa Druckspannung bereits ab einem Trocknungsgrad von ca. 40 % das Ausmaß der Stauchung auf unter 10 % absinkt.

Im Gegensatz zu zementbasierten Werkstoffen wird das Wasser im Stärkebasierten Komposit nicht dauerhaft durch Hydratation gebunden. Die Stärke bindet bei der Verkleisterung Wasser temporär physikalisch, das anschließend aus dem Material diffundieren muss. Diese Wasserentfernung erfordert einen hohen Energieeinsatz bzw. eine lange Trocknungsdauer. Bis auf die Trocknung mittels dielektrischer Methoden, die aus Gründen der Praxistauglichkeit nicht bevorzugt wird, kann bisher keine der untersuchten Trocknungsmodi die hohen Prozessanforderungen erfüllen. Weiterer Forschungsbedarf besteht insofern bezüglich der Reduzierung des Wassergehalts, ohne die Fließfähigkeit des Komposits zu verschlechtern bzw. in der Zugabe von Additiven, die ein chemisches Abbinden ermöglichen.

## RESULTS

All the mixture compositions examined showed a multiple of the required 42 kPa in the compressive strength tests in a completely dry state. Complete drying of the wood-starch composite, however, stands in the way of rapid progress in compression. It could also be demonstrated that at 42 kPa compressive stress, the degree of compression drops to below 10 % already from a degree of drying of about 40 %.

Unlike cement-based materials, the water in starch-based composites is not permanently bound by hydration. During gelatinisation, the starch physically binds water temporarily, which must then diffuse from the material. This water removal requires high energy input or a long drying time. Except for drying by dielectric methods, which is not preferred for reasons of practicability, none of the drying modes investigated so far are able to meet the high process requirements. Further research is required with regard to the reduction of the water content without impairing the flowability of the composite or in the addition of additives that enable chemical setting.

Furthermore, the fundamental fitness of the support material composite for recycling could be proven. Processed material was removed, crushed and reprocessed, with only water being added again. The investigated mechanical properties of these one-time recycled material samples remained almost constant compared to wood-starch support material used for the first time.

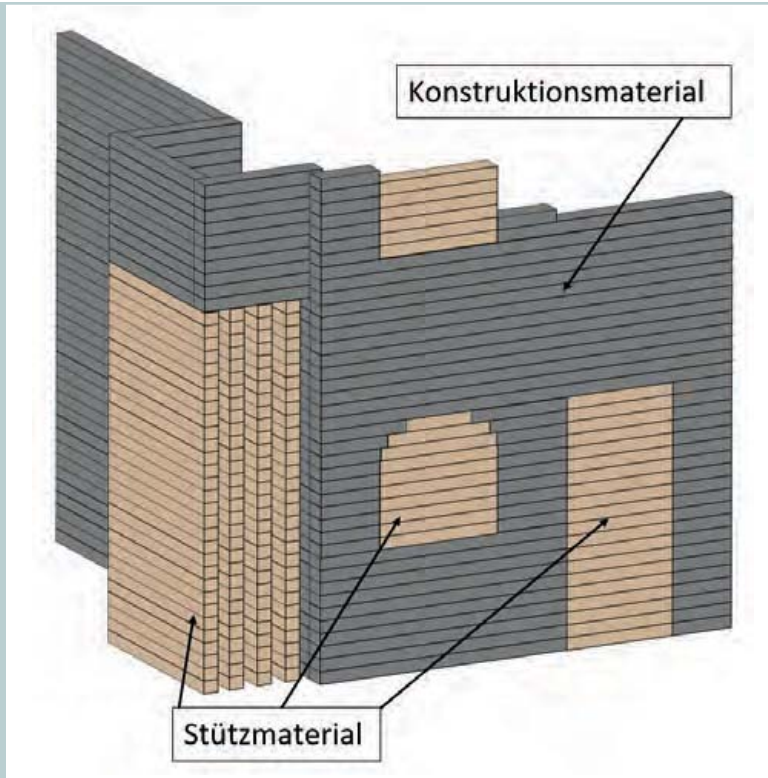


Abb. 1: Schematische Darstellung eines generativ gefertigten Bauwerks mit Stützstruktur

Fig. 1: Schematic representation of a generatively manufactured building with a supporting structure

Weiterhin konnte die grundsätzliche Eignung des Stützmaterial-Komposits zur Rezyklierung belegt werden. Prozessiertes Material wurde abgetragen, zerkleinert und erneut verarbeitet, wobei lediglich Wasser neu zugegeben wurde. Die untersuchten mechanischen Eigenschaften dieser 1-fach rezyklierten Materialproben blieben gegenüber erstmalig verwendetem Holz-Stärke-Stützmaterial annähernd konstant.

## FAZIT

In dieser Machbarkeitsstudie konnten erste, grundlegende Erkenntnisse zur Verarbeitung und zum Werkstoffverhalten eines neuartigen, extrusionsfähigen Biocomposits gesammelt werden.

## CONCLUSION

First fundamental findings on the processing and material behaviour of a new type of extrusion-compatible biocomposite were gathered in this feasibility study.