

# bioXprint – Der Bio-Schaum-Drucker für gradierte Strukturen

## bioXprint – The bio-foam printer for graded structures

### Projektleiter

#### Project leader:

Oliver Bumbel

### Fördermittelgeber

#### Co-funded by:

BMBF

### Projektpartner

#### Project partners:

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT),

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),  
Rolf Benz AG & Co. KG,  
Dr. Olaf Plümer (VDM e. V.)

### AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Derzeitige Sitzaufbauten in Polstermöbeln, aber auch Fahrzeugsitzen und Matratzen, sind durch eine Kombination und Koppelung von verschiedenen Feder-Dämpfersystemen gekennzeichnet. Basis bildet zumeist ein Gestell mit einem Federungssystem, auf dem Schaumstoffe unterschiedlicher Härtegrade fixiert werden. Die Differenzierung in verschiedene Härtegrade ergibt sich aus dem Wunsch eines ergonomiegerechten und bequemen Sitzens. Eine Anpassung an die ungleichmäßige Masseverteilung des Sitzenden und die verschiedenen großen Kontaktflächen zwischen Körper und Sitzpolster wird dabei durch eine sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung unterschiedliche Anordnung von Schäumen mit definierter Eindruckhärte realisiert. Die verwendeten Halbzeuge müssen einerseits aufwendig zugeschnitten und andererseits mit kostspieligen Werkzeugen hergestellt werden. Eine gezielte Einstellung der Härte über die Höhe des Schaumes hinweg ist nicht möglich.

Biobasierte Werkstoffe kommen im 3D-Druck bereits zum Einsatz. Polylactide (PLA) finden sich in zahlreichen Varianten als Standardfilament in der Fused Filament Fabrication (FFF) wieder. Verschiedene Forschungsprojekte untersuchen die Möglichkeit, andere biobasierte Polymere zu drucken z. B. Celluloseacetat (CA) oder Bio-Polyethylen (Bio-PE).

Ziel des Verbundprojekts war die Entwicklung einer technischen Lösung für den dreidimensionalen Druck von Objekten aus Hart-

### INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Current seating structures in upholstered furniture, but also vehicle seats and mattresses, are characterised by a combination and coupling of various spring damping systems. The basis is usually a frame with a spring system on which foams of different degrees of firmness are fixed. The differentiation into different degrees of firmness results from the desire for ergonomic and comfortable seating. An adaptation to the uneven mass distribution of the seated person and the differently sized contact surfaces between body and seat upholstery is achieved by an arrangement of foams of defined indentation resilience that varies in both vertical and horizontal direction. The semi-finished products used must be cut to size at great expense on the one hand and manufactured with expensive tools on the other. Defined adjustment of the firmness by varying the height of the foam is not possible.

Bio-based materials are already in use in 3D printing. Polylactide (PLA) can be found in numerous variants as a standard filament in Fused Filament Fabrication (FFF). Various research projects are investigating the possibility of printing other bio-based polymers, e.g., cellulose acetate (CA) or bio-polyethylene (bio-PE).

The aim of the joint project was to develop a technical solution for the three-dimensional printing of objects of rigid foam structures of different mechanical properties. The foamed material was to be a bio-based thermoplastic. Material development was part of the scope of the project, too.

schaumstrukturen mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften. Bei dem geschäumten Material sollte es sich um einen biobasierten, thermoplastischen Kunststoff handeln. Die Materialentwicklung war ebenfalls Teil des Projektumfangs.

#### VORGEHENSWEISE

CP-, PLA- und Polybutylensuccinat (PBS)-Filamente wurden unter bestimmten Druck- und Temperatur-Regimen mit Treibmitteln beladen. Die Eignung der jeweiligen Thermoplast-Treibmittel-Kombinationen wurde durch Erwärmung in einem Ethylenglycolbad anhand der Volumenzunahme ermittelt. Für die Erzeugung von Schaumstrukturen mit unterschiedlicher Dichte und Zellstruktur wurden die für das FFF-Verfahren wesentlichen Extrusionsparameter Düsentemperatur und Extrusionsgeschwindigkeit variiert. Durch den Treibmittelgehalt des Filaments kam es während der Verarbeitung im FFF-Verfahren zu einem ungewollten Nachfließen aus der Düse während des Positions- oder Schichtwechselns des Druckkopfes ohne aktiven Filamentvorschub. Dies resultierte in einer deutlichen Abnahme der Bauteilqualität, der Notwendigkeit von Nachbearbeitungsschritten und in einem erhöhten Materialverbrauch. Um diesem Umstand zu begegnen, wurde innerhalb des Projektes eine neuartige Düse mit einem Verschlussmechanismus entwickelt. Die material- und prozesseitigen Ergebnisse wurden in Form verschiedener Demonstratoren umgesetzt. An der Umsetzung der einzelnen Teilaufgaben wirkten die Partner des Projektkonsortiums mit.

#### APPROACH

CP, PLA and polybutylene succinate (PBS) filaments were loaded with blowing agents under specific pressure and temperature regimes. The suitability of each thermoplastic/blowing agent combination was determined by heating in an ethylene glycol bath based on volume increase. For the generation of foam structures of different density and cell structure, the extrusion parameters of nozzle temperature and extrusion speed, which are essential for the FFF process, were varied. Due to the blowing agent content of the filament, there was an undesired flow out of the nozzle during position or layer changes of the print head without active filament feed during processing in the FFF process. This resulted in a significant decrease in structural component quality, the need for post-processing steps and increased material consumption. To counteract this, a new type of nozzle with a sealing mechanism was developed within the scope of the project. The material-related and process-related results were implemented in the form of various demonstrators. The partners of the project consortium were involved in the implementation of the individual subtasks.

## ERGEBNISSE

Im Freistrahlexperiment konnten für PLA-Varianten Schaumdichten von  $53 \text{ kg/m}^3$  erreicht werden. Die für die Extrusion des PLA verwendeten Parameter weichen von denen vergleichbarer, kommerzieller PLA-Filamente ab. Anhand der hergestellten Demonstratoren konnte die Verarbeitbarkeit des entwickelten PLA-Filaments nachgewiesen werden (Abb. 1). Die Treibmittelbelastung von CP-Filament bewirkte bei dessen Verarbeitung eine Volumenzunahme um den Faktor 2. Eine Anwendung dieses Kunststoffes im FFF-Verfahren ist jedoch durch dessen unzureichende Schichthaftung nicht möglich. Für PBS konnte keine hinreichende Treibmittel-Kombination gefunden werden, die ein vergleichbares Aufschäumen des Filaments ermöglicht.

Der entwickelte Düsenverschluss besitzt eine passive Mechanik, die bei Stopp des Filamentvorschubs die Düsenöffnung verschließt und den Austritt der Kunststoffschmelze verhindert. Bei Verwendung der entwickelten Düse konnten mit dem finalen PLA-Blend im Vergleich zu den Vorversuchen nur Dichten von  $110 \text{ kg/m}^3$  erreicht werden (Abb. 2).

## AUSBLICK

Nach Projektabschluss müssen konstruktive Anpassungen und eine Optimierung der Druckparameter vorgenommen werden, um das Potenzial zur Reduzierung und Einstellung der Dichte der erzeugten Schaumstrukturen umzusetzen. Einsatzmöglichkeiten für die innerhalb des Projekts getätigten Entwicklungen von Material und Anlagentechnik im Bereich der Polstermöbelfertigung

## RESULTS

In the free jet test, foam densities of  $53 \text{ kg/m}^3$  could be achieved for PLA variants. The parameters used for the extrusion of the PLA differ from those of comparable, commercial PLA filaments. The processability of the developed PLA filament was demonstrated based on the demonstrators produced (Fig. 1). The blowing agent loading of CP filament caused an increase in volume by a factor of 2 during its processing. However, application of this plastic in the FFF process is not possible due to its insufficient layer adhesion. For PBS, no sufficient blowing agent combination could be found that would allow comparable foaming of the filament.

The nozzle closure developed has a passive mechanism which closes the nozzle opening when the filament feed stops and prevents the plastic melt from escaping. Using the developed nozzle, densities of only  $110 \text{ kg/m}^3$  could be achieved with the final PLA blend compared to the preliminary tests (Fig. 2).

## OUTLOOK

After completion of the project, design adjustments and optimisation of the pressure parameters must be made to implement the potential for reducing and adjusting the density of the foam structures produced. Possible applications for the development of materials and systems technology in the field of upholstered furniture production are the manufacture of prototypes, very small series and spare parts. Here, the generative manufacturing process is advantageous due to the elimination of tooling costs and greater freedom of design.

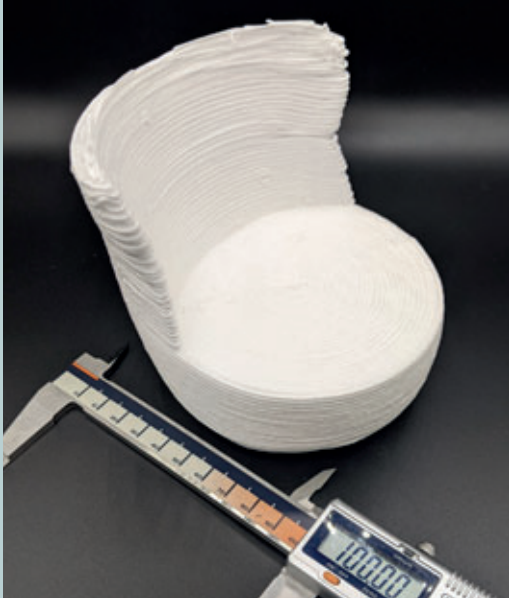


Abb. 1: Modell eines im FFF-Verfahren hergestellten Sitzmöbels aus geschäumtem PLA

Fig. 1: Model of a piece of upholstered furniture made in an FFF using foamed PLA

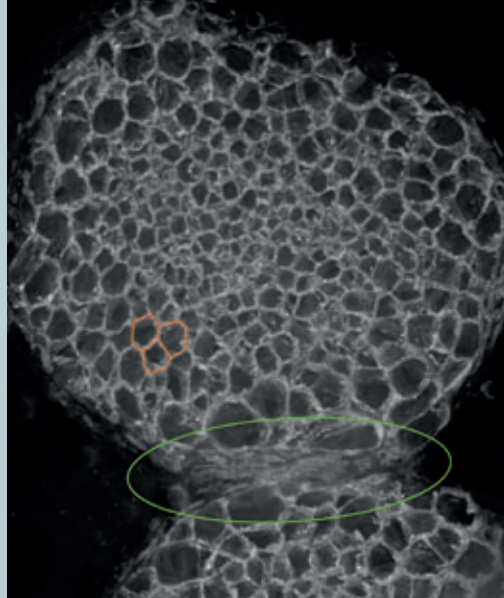


Abb. 2: Mikroskopaufnahmen der Schaumstruktur

Fig. 2: Microscopic images of the foamed structure

bieten sich in der Fertigung von Prototypen, Kleinstserien und Ersatzteilen. Hier ist das Verfahren der generativen Fertigung auf Grund entfallender Werkzeugkosten und höherer Gestaltungsfreiheit von Vorteil.