

ADDITIVE FERTIGUNG VON ORGANMODELLEN AUS KOLLAGEN

Motivation

Realistische und individuelle Organmodelle gewinnen in der Medizin trotz enormer Entwicklungen im Rahmen der virtuellen Realität immer mehr an Bedeutung. Gleichzeitig stehen durch zunehmend strengere Tierschutz- und Ethikvorgaben seit 2018 immer weniger Tiermodelle für das medizinische Training und die Instrumentenentwicklung zur Verfügung [1]. Für das Training elektrochirurgischer Eingriffe sind elektrisch leitfähige Modelle erforderlich [2]. Zurzeit können mit der additiven Fertigung Organmodelle nur aus Kunststoffen oder Silikonen mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit gefertigt werden. Aus thermoplastischem Kollagen (thermoplastic collagen – TC) können jedoch mit einer gezielten Rezepturierung funktionelle Modelle für das OP-Training gedruckt und elektrochirurgisch bearbeitet werden.

Zielstellung

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts werden aktuell

- geeignete Rezepturen aus TC zur Verarbeitung auf einem 3D-Drucker sowie die
 - vorgefertigten Portionseinheiten zur einfachen Dosierung auf dem Drucker und
 - farbige Rezepturen für eine realistische Optik
- zur additiven Fertigung elektrisch leitfähiger Organmodelle erarbeitet.

Methoden

TC ist ein teildenaturiertes Kollagenmaterial, welches aus gereinigten und enthaarten Tierhäuten gewonnen wird. Im Rahmen des Projektes wurden Rinderhäute verwendet [3], [4].



Abb. 1: Pulverförmiges thermoplastisches Kollagen (TC)

Rezepturierung und Charakterisierung

Die Rezepturierung der TC-Massen erfolgt durch Zugabe von Glycerin als Weichmacher und Feuchthaltemittel, Salz (NaCl) zur Verbesserung der Leitfähigkeit sowie Farbstoffen und Wasser [4]. Die Masse wird in einem Schneidmischer (Vorwerk) homogenisiert (Abb. 2). Bereits nach sehr kurzer Mischzeit erhält man ein hochviskoses Agglomerat, welches nach einer Ruhezeit von ca. 10 min weiter verarbeitet werden kann.

Die verschiedenen Rezepturen wurden umfassend auf deren rheologische Eigenschaften hin untersucht. Für die Herstellung der Portionseinheiten wurde das Material mit Hilfe eines Doppelschneckenextruders (APV Baker Ltd.) zu Strängen verarbeitet. Diese Stränge werden für die Weiterverarbeitung auf einem Drucker zu Portionssticks konfektioniert.



Abb. 2: TC-Rezeptur, hergestellt in einem Schneidmischer (Vorwerk)



Abb. 3: TC-Stränge für die Portionssticks

Additiver Fertigungsprozess

Die konfektionierten Portionseinheiten aus TC können im Anschluss mit einem Kartuschensystem (BioScaffolder 3.2, GeSim GmbH, Radeberg) verdruckt werden.

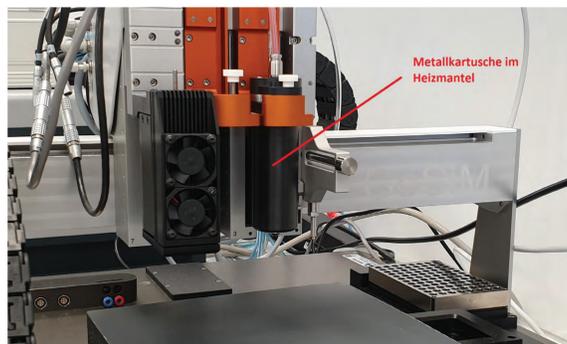


Abb. 4: BioScaffolder 3.2 von GeSim

Das Material wird in die temperierbare Metallkartusche (Abb. 4) vorgelegt, auf die notwendige Schmelztemperatur erhitzt und mit Hilfe von Druckluft durch eine Düse extrudiert und als Strang abgelegt. Mit dem Bioscaffolder können je nach Geräteausstattung bis zu drei unterschiedliche Materialien parallel und je nach Modell auch Stützmaterial mit verarbeitet werden. Für die Kombination mit TC muss das Stützmaterial lösemittellöslich und ebenfalls mit einer Kartusche verdruckbar sein.

Aus den geeigneten Rezepturen und Portionssticks wurden zunächst zylindrische und quaderförmige Formkörper gedruckt, um weitere Parameter wie Maßhaltigkeit, Haftung der Stränge und das Verschmelzen zu einem kompakten Modell sowie das Schneiden mit einem Elektro-kauter zu beurteilen.

Ergebnisse

Mit dem Ziel, für den Drucker verarbeitbare Portionssticks herzustellen, wurden aus den rheologischen Untersuchungen Rezepturen mit geeigneter Viskosität in Abhängigkeit vom Wasser- und Glyceringehalt abgeleitet. Die Formkörper können mit einem Elektro-kauter geschnitten werden, wobei sogar typische Schnittkanten wie bei echten Geweben erzeugt werden (Abb. 5). Die Formkörper weisen eine geschlossene Geometrie auf.



Abb. 5: Additiv gefertigter Probekörper, bearbeitet mit einem Elektro-kauter

Zusammen mit einer Stützstruktur aus einem PLA-Holz-Gemisch konnten aus der TC-Masse einfache Organmodelle gedruckt werden (Abb. 6 und 7). Das Auflösen der Stützstrukturen erfolgte mit Dichlormethan, was gleichzeitig die TC-Masse chemisch stabilisiert. Eine Nachbearbeitung des TC-Modells konnte mit warmem Wasser erfolgen.



Abb. 6: Probekörper mit PLA-Holz-Stützstruktur.



Abb. 7: Mit warmem Wasser nachbearbeiteter Probekörper aus Abb. 6

Zusammenfassung und Ausblick

Mit einer geeigneten Rezepturierung kann thermoplastisches Kollagen in einem 3D-Druckprozess verarbeitet werden. Aus vorextrudierten und portionierbaren Strängen lassen sich geometrisch geschlossene Formkörper drucken. Zudem lassen sich mit geeignetem Supportmaterial komplexere Strukturen realisieren. Die Modelle auf TC-Basis sind im Gegensatz zu Modellen aus Kunststoffen oder Silikon mit allen Instrumenten der Elektrochirurgie (Hochfrequenz- oder auch Ultraschallwerkzeuge) bearbeitbar. In Verbindung mit einem löslichem Stützmaterial sollen in Zukunft auch komplexe Strukturen wie Hohlräume und Gefäße an den Modellen abgebildet werden.

Quellen

- [1] Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
- [2] A. Neugebauer, M. Zenker, M. D. Enderle „Grundlagen der Hochfrequenz-Chirurgie – Teil 1: Geräte, Instrumente und Einstellungen“, Georg Thieme Verlag KG Stuttgart, 2012
- [3] M. Meyer, R. Mühlbach, D. Harzer „Solubilisation of cattle hide collagen by thermo-mechanical treatment“, Polymer Degradation and Stability, Volume 87, Issue 1, 2005
- [4] E. Klüver und M. Meyer, „Preparation, Processing, and Rheology of Thermoplastic Collagen“, J. Appl. Polym. Sci., Nr. 128 (6), 2013