



3D-Druck von Keramik als vielseitiges Herstellungsverfahren für Medizinprodukte

Das enorme Potenzial, das additiv gefertigte Keramik für die Medizintechnik hat, zeigt sich vor allem bei den vielseitigen Anwendungen, von denen hier einige exemplarisch vorgestellt werden sollen.

Biokompatible und bioresorbierbare Keramiken sind in der Traumabehandlung sowie für orthopädische Anwendungen seit vielen Jahren etabliert. Zirkonoxid, Aluminiumoxid oder Siliciumnitrid stellen als Vertreter der Hochleistungskeramiken Materialien dar, die aufgrund ihrer herausragenden mechanischen Eigenschaften vor allem für Permanentimplantate und medizinische Instrumente geeignet sind. Hervorzuheben sind deren hohe mechanische Festigkeit, Abnutzungsbeständigkeit, geringe thermische und fehlende elektrische Leitfähigkeit sowie das fehlende Potenzial, Allergien auszulösen. Während vom medizinischen Sektor vor allem hohe mechanische Anforderungen an Hochleistungskerami-

ken gestellt werden, werden von bioresorbierbaren Keramiken ganz andere Eigenschaften erwartet. Tricalciumphosphat und Hydroxylapatit gehören zur Klasse der bioresorbierbaren Keramiken und werden aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit dem anorganischen Anteil des Knochens für die Herstellung von bioresorbierbaren Implantaten verwendet. Durch Resorption des Materials während des Heilungsprozesses können die Zellen mit notwendigen Ionen versorgt werden; gleichzeitig wird Platz für das Einwachsen der Zellen geschaffen. Im Idealfall verläuft der Abbau des künstlichen Materials gleich schnell wie das Wachstum des sich regenerierenden Gewebes, wodurch eine gewisse mechanische Grundstabilität während des

gesamten Heilungsprozesses aufrechterhalten werden kann.

Generative Fertigungsverfahren (3D-Druck) auf der Basis von Photopolymerisation stellen eine sehr effektive Methode zur Herstellung von hochkomplexen Bauteilen dar, die sich gerade im Bereich der Medizinproduktherstellung wachsenden Interesses erfreuen. Durch die Anwendung des „Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM)“-Prozesses ist es möglich, eine Vielzahl von Keramiken, wie beispielsweise Zirkonoxid oder Hydroxylapatit (HA), in beinahe jede beliebige Form zu bringen, sowohl was die äußere (Bauteilform) als auch die innere Geometrie (Porendesign) betrifft. Der LCM-Prozess basiert auf der selektiven Aushärtung photosensitiver, keramischer Suspensionen, in denen ein besonders hoher Füllgrad (hohe Packungsdichte an keramischen Partikeln) im Grünkörper erreicht wird. Das ist eine Voraussetzung, um in weiterer Folge dichte und defektfreie keramische Bauteile erhalten zu können. Der Bauprozess folgt dabei einem Schicht-auf-Schicht-Prinzip; die CAD- („Computer aided design“) -Datei wird virtuell in sehr dünne Schichten unterteilt, welche dann nacheinander hergestellt und verbunden werden. Durch ortsaufgelöste Belichtung der Suspension wird die organische Matrix vernetzt, und ein Komposit aus einem Polymernetzwerk und den Keramikpartikeln entsteht. Das Polymernetzwerk dient dabei als Binder zwischen den keramischen Partikeln und erlaubt damit die Formgebung. Bei der thermischen Nachbehandlung wird zunächst unter hohen Temperaturen die organische Matrix rückstandslos entfernt und durch Sintern bei Temperaturen jenseits der 1000 °C der finale keramische Bauteil hergestellt.

Der Einsatz des LCM-Prozesses für die Herstellung von Medizinprodukten erlaubt eine vergleichsweise einfache Anpassung der Implantatgeometrien an physiologi-

© Lithoz GmbH

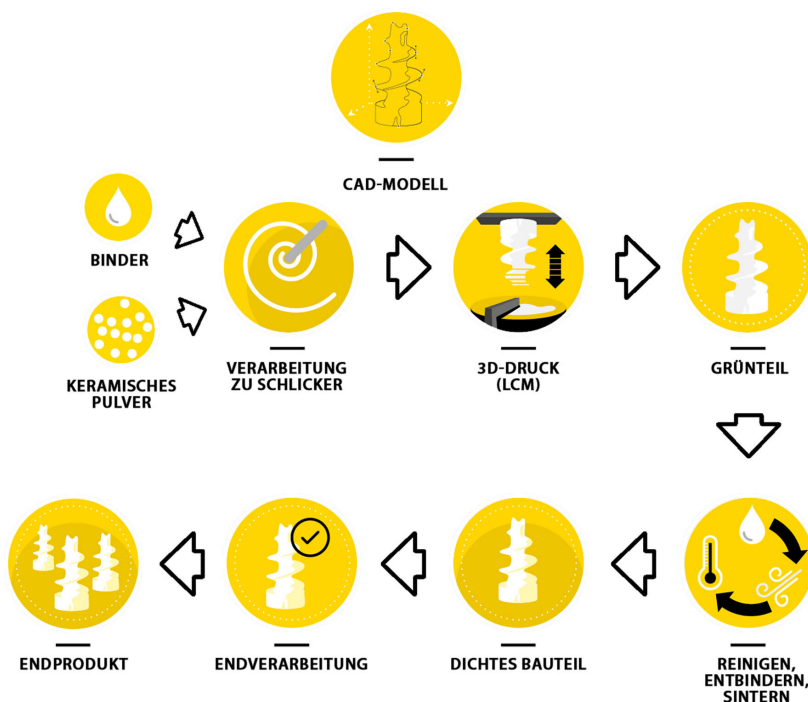


Abb. 1: Schematische Darstellung des LCM-Prozesses von Lithoz. Der Schlicker wird über den Druckprozess zum Grünenteil (Keramik-Polymer-Komposit) verarbeitet, welches gereinigt, entbindert und gesintert wird. Anschließend kann eine Endverarbeitung (z.B. Polieren oder Assemblieren) erfolgen, bevor man das Endprodukt erhält

sche Strukturen von einzelnen Patienten bis hin zur Fertigung individualisierter Implantate. Damit können eine ideale Passform und eine einfachere Positionierung erreicht werden. Ausgehend von bildgebenden Verfahren (CT, MRT ...) können so patientenspezifische Medizinprodukte mit hoher Genauigkeit gefertigt werden. Da das Verfahren ohne Werkzeuge (wie z.B. im Gegensatz zum Spritzguss) auskommt, ist die Herstellung von Losgrößen ab einem Teil wirtschaftlich möglich.

Neben der Möglichkeit, patientenspezifische Teile zu produzieren, können Strukturen so gestaltet werden, dass ein Einwachsen von Zellen erleichtert oder sogar

aktiv gefördert wird. Dazu sind interkonnektive Porensysteme mit definierter Geometrie und Porengröße notwendig, die an die entsprechenden Zellen angepasst sind. Der LCM-Prozess ermöglicht die Erzeugung von definierten Netzwerken mit Stegbreiten bis zu $120\mu\text{m}$ und Porengrößen von nur $160\mu\text{m}$. Weitere Vorteile sind die hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des verwendeten Verfahrens.

Forschungsprojekt intrakardiale Herzpumpe

Die Kombination von geeigneten Materialeigenschaften und die Möglichkeit der Prototypenfertigung ließen Forscher der

Technischen Universität Wien und der Medizinischen Universität Wien den LCM-Prozess als Herstellungsverfahren für die Entwicklung intrakardialer Herzpumpen auswählen. In ihrem Forschungsprojekt ging es um die Herstellung von intrakardialen Herzpumpen, welche die Pumpkraft des Herzens nach einer Operation (z.B. nach einem Herzinfarkt) unterstützen sollen, um so das Herz in der kritischen Heilungsphase zu entlasten. Als Material für das Projekt wurde Aluminiumoxid gewählt, das aufgrund seiner Bioinertheit und der extrem geringen Oberflächenrauheit ideale Bedingungen für Instrumente mit Blutkontakt aufweist. Durch werkzeuglose additive Fertigungs-

© Lithoz GmbH

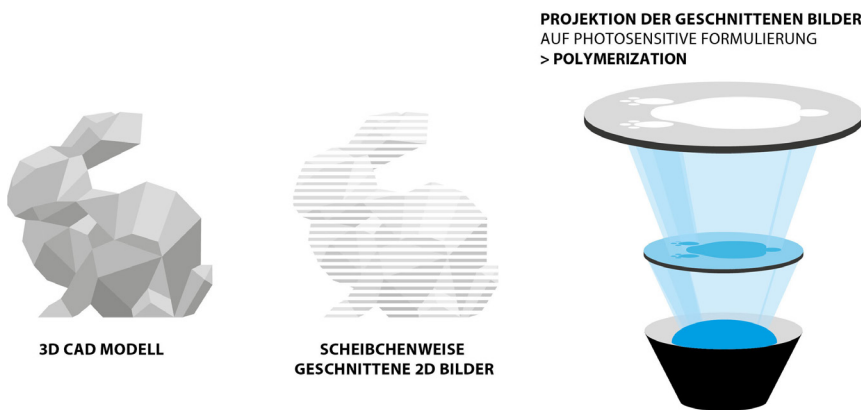


Abb. 2: Schematische Darstellung des Strukturierungsprozesses: Das CAD-Modell (links) wird virtuell in Schichten geschnitten (Mitte) und über eine dynamische Maskenbelichtung („Digital Light Processing“, DLP) wird das Material Schicht für Schicht strukturiert

© Lithoz GmbH



Abb. 3: Teile einer intrakardialen Herzpumpe aus hochreinem Aluminiumoxid (die Bauteile wurden hier für eine bessere Visualisierung 10-fach vergrößert ausgedruckt)

© Lithoz GmbH



Abb. 4: Auswahl an medizinischen Bauteilen aus unterschiedlichen keramischen Materialien

© Lithoz GmbH, Design: Michael Bergler, PA, USA

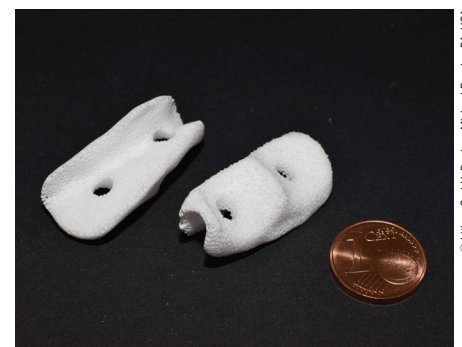


Abb. 5: Implantat aus Tricalciumphosphat für eine Kieferaugmentation vor dem Einbringen eines Dentalimplantats



Abb. 6: Tricalciumphosphat-Kranialimplantat zur Versorgung eines Knochendefekts

verfahren konnten so innerhalb kurzer Zeit viele unterschiedliche Designvarianten hergestellt und getestet werden.

Patientenspezifische Osteosyntheseplatten

Vollständig anders gestaltete sich die Aufgabenstellung in einem Projekt mit dem Kepler Universitätsklinikum Linz, bei dem patientenspezifische Osteosyntheseplatten hergestellt werden sollten. Osteosyntheseplatten dienen der chirurgischen

Versorgung von Knochenbrüchen, um die frakturierten Enden zusammenzuhalten und gleichzeitig eine Immobilisation der Fraktur zu erreichen. Herkömmliche Produkte bestehen aus Metall und müssen im Operationssaal vom Chirurgen passend gebogen werden. Durch die Planung der Operation am Computer und eine Herstellung der entsprechenden Osteosyntheseplatten, angepasst an die Verletzungen und den Patienten selbst, soll die Passgenauigkeit erhöht und die Operationszeit verringert werden. Gleichzeitig kann durch den Einsatz von Zirkonoxid, welches eine hohe Verschleißfähigkeit und unter allen Hochleistungskeramiken die höchste Elastizität aufweist, der Abrieb von Metallpartikeln im Gegensatz zu herkömmlich eingesetzten Materialien, z.B. Titanlegierungen, verhindert werden.

Resorbierbare Implantate für Knochenaugmentation

Der Knochenersatz nach schweren Traumata oder Tumorentfernungen ist nach wie vor eine große Herausforderung für Mediziner. Einerseits sollen die Stabilität und die Schutzfunktion des Knochens so schnell wie möglich wiederhergestellt werden, andererseits sollen eine gute Heilung und Besiedelung mit körpereigenen

Knochenzellen erreicht werden. Dafür bietet sich der Einsatz von bioresorbierbaren Keramiken wie Tricalciumphosphat an, aus denen patientenspezifische Implantate gefertigt werden können, beispielsweise für Kranialimplantate nach Trepanationen oder schweren Schädel-Hirn-Traumata bis hin zu Gerüsten für den Knochenaufbau vor dem Einbringen eines Dentalimplantats nach Zahnverlust. Hier gibt es gemeinsame Projekte mit dem österreichischen Cluster für Geweberegeneration und dem Ludwig Boltzmann Institut für experimentelle und klinische Traumatologie/AUVA. ■

Weiterführende Information über die LCM-Technologie finden Sie auf www.lithoz.com.

Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. **Daniel Bomze**
Lithoz GmbH, Wien
E-Mail: dbomze@lithoz.com

Prof. DI Dr. **Heinz Redl**
Ludwig Boltzmann Institut für Experimentelle und
Klinische Traumatologie, Wien
E-Mail: officetrauma.lbg.ac.at

■04