

Filamentbasierte Herstellung keramischer Bauteile

Dr.-Ing. Uwe Lohse¹

Die filamentbasierte additive Herstellung keramischer Bauteile ist eine nachhaltige und ausgereifte Technologie. In diesem Beitrag wird die Fusion Factory vorgestellt, die die komplette Produktionslinie in einer Maschine abbildet, und einige Anwendungsbeispiele für Komponenten aus Oxidkeramik aufgezeigt, die im Ofenbau bei hohen Temperaturen eingesetzt werden können.

Für die additive Herstellung keramischer Bauteile sind zurzeit eine ganze Reihe unterschiedlicher Technologien bekannt, die zum überwiegenden Teil auf der Anwendung von Laser-, Licht- oder Elektronenstrahlen beruhen. Im Kunststoffbereich sind filamentbasierte Herstellverfahren weit verbreitet und deren jahrzehntelange Anwendung und Weiterentwicklung hat zu einer hohen technologischen Reife geführt. Die filamentbasierte Herstellung (Fused Filament Fabrication – FFF) ist ein nachhaltiges Fertigungsverfahren, da das eingesetzte Rohmaterial komplett ohne Verluste in das fertige Bauteil transportiert wird. Es gibt keinen Pulverüberschuss, der recycelt werden muss. Die Gefahren, die Pulverschüttungen mit sich bringen, treten bei diesem Verfahren nicht auf, weshalb persönliche Schutzausrüstungen daher (fast) nicht notwendig sind.

Ein weiterer großer Vorteil gegenüber den strahlbasierten Verfahren liegt in der Möglichkeit, geschlossene Hohlräume auf einfache Weise herstellen zu können, da in diesen keine Pulver- oder Schlickerreste verbleiben. Damit ergeben sich völlig neuartige Anwendungen, die offen- und geschlossporige Strukturen zum Erreichen der gewünschten Eigenschaften wie beispielsweise Durchströmbarkeit ausnutzen.

Neue Filamente auf dem Markt

Seit relativ kurzer Zeit sind thermoplastische Filamente verfügbar, die mit Metall- oder Keramikpulver gefüllt sind und somit nach der Formgebung in die bekannte Prozess-



Bild 1 Kommerzielle keramische Filamente unterschiedlicher Hersteller (© Xerion Berlin Laboratories)



Bild 2 Produktionslinie der Fusion Factory (© Xerion Berlin Laboratories)

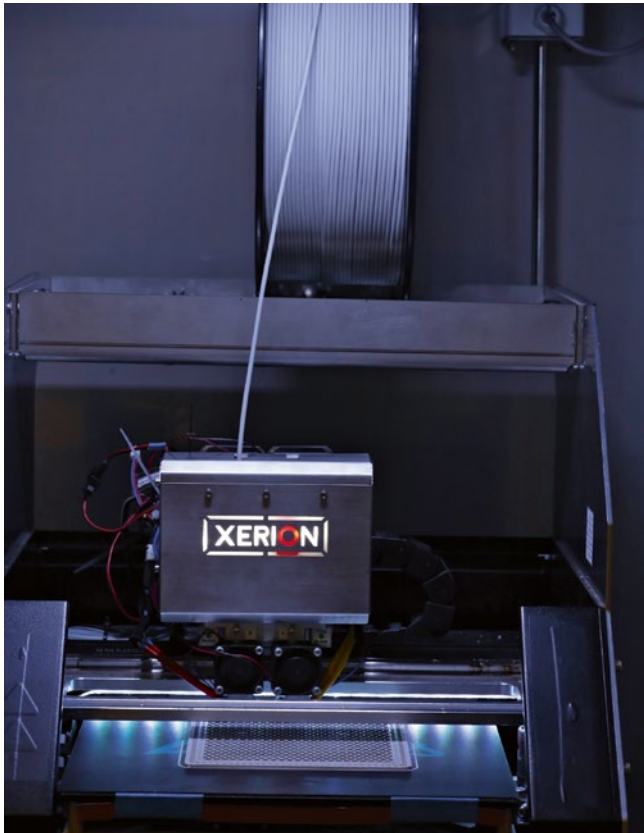


Bild 3 Druckereinheit der Fusion Factory während der Verarbeitung von Aluminiumoxid-Filament (© Xerion Berlin Laboratories)



Bild 4 Die Entbindereinheit ist so ausgelegt, dass beim Aufbau keine Explosionsschutzzone nötig ist. (© Xerion Berlin Laboratories)

kette der keramischen Spritzgusstechnologie (Ceramic Injection Moulding – CIM) eingespeist werden können (Bild 1). Damit ergibt sich sowohl im Bereich der Formgebung durch Filamentdruck als auch im Bereich des Entbinderns und Sinterns ein hoher technologischer Reifegrad. Die Filamente werden üblicherweise mit einem Durchmesser von 1,75 mm oder 2,85 mm hergestellt. Als oxidische Materialien stehen sowohl Aluminiumoxid, zirkoniumoxidverstärktes Aluminiumoxid (ZTA) als auch Zirkoniumoxid zur Verfügung. Im nichtoxidischen Bereich werden derzeit Siliciumnitrid und Siliciumcarbid angeboten.

Eine ganze Reihe von Herstellern führen aktuell Entwicklungsarbeiten zur Herstellung keramischer Filamente durch. Innerhalb kurzer Zeit ist deshalb eine deutliche Erweiterung der angebotenen Materialien zu erwarten. Diese Ausweitung der produzierten Mengen wird auch zu einer Verbesserung der Produktqualität hinsichtlich

Durchmesserkonstanz und Materialhomogenität führen.

Maschinenteknik der Fusion Factory

Von Xerion wurde für die filamentbasierte Herstellung von metallischen und keramischen Bauteilen die komplette Produktionslinie Fusion Factory entwickelt. Sie umfasst die Einheiten zum Drucken, Entbindern und Sintern sowie eine Kontrolleinheit zur Steuerung, Überwachung und Protokollierung des gesamten Herstellprozesses (Bild 2). Das System ist modular aufgebaut und erlaubt somit das Hinzufügen oder das Weglassen einzelner Stationen. Der Drucker ist als Dualdrucker ausgeführt und die Filamente werden mit einem Ganzmetall-Vorschubsystem bewegt (Bild 3). Neben den Düsentemperaturen und der mechanischen Kraft auf die Düsen wird die Bauraumtemperatur und -feuchte protokolliert.

Die Entbindereinheit ist für die Lösungsmittellentbinderung mit Aceton oder ähnlichen Substanzen ausgelegt (Bild 4). Der Aufbau ist so gewählt, dass um die Anlage keine Explosionsschutzzone geschaffen werden muss. Dadurch vereinfacht sich für den Betreiber die Aufstellung des Gesamtsystems. Der Füllstand und weitere Parameter können per Chargenrezept vorgegeben werden. Die Lösungsmittellentbinderung erlaubt die fast vollständige Rückgewinnung der eingesetzten Flüssigkeit, worin auch wieder die Nachhaltigkeit des gesamten Herstellungsprozesses betont wird.

Der Sinterofen ist als Multi-Atmosphärenofen ausgeführt, dadurch können die Bauteile sowohl unter Inertgas, Luft als auch Wasserstoff oder Vakuum prozessiert werden (Bild 5). Die Maximaltemperatur in der Standardanwendung liegt bei 1.550 °C, in einer Sonderausführung für keramische Materialien kann die Maximaltemperatur auf 1.750 °C angehoben werden. Der anfallende



Bild 5 Der Sinterofen ist als Multi-Atmosphärenofen ausgeführt.
(© Xerion Berlin Laboratories)

Binder lässt sich wahlweise, auch im Unterdruckbetrieb, in einer Kühlfalle sammeln oder über einen Nachbrenner abfackeln. Das Schubladenprinzip erlaubt eine sehr ergonomische Be- und Entladung des Ofens. Der gesamte thermische Entbinder- und Sinterprozess läuft vollautomatisch ab, wobei ein manuelles Eingreifen in den Ablauf nach Eingabe eines Passwortes möglich ist.

Die Basis der Kontrolleinheit bildet eine speicherprogrammierbare Steuerung Siemens S7-1500, die teilweise fehlersicher ausgeführt ist und sich über ein 42" Touch-Screen-Display bedienen lässt (Bild 6). In der Kontrolleinheit ist eine SQL-Datenbank implementiert, mit der nach Fertigstellung der Bauteile ein kompletter Datensatz über die Historie der Herstellung zur Verfügung steht. Anhand von Chargennummern wer-

den diese Datensätze archiviert und lassen sich anschließend jederzeit aufrufen.

Herstellparameter

Der gesamte Herstellprozess überschreitet üblicherweise nicht die Dauer von 36 h, davon entfallen maximal die ersten 12 h auf den Druckprozess, anschließend folgt meist über Nacht die Entbinderung und am Folgetag der Sinterprozess. Die derzeit erhältlichen Keramik-Filamente können bei relativ niedrigen Temperaturen im Bereich von 120 °C -160 °C verdrückt werden. Eine Bau-raumheizung ist zumeist nicht erforderlich. Der Entbinderprozess läuft bei einer leicht erhöhten Temperatur bei etwa 45 °C ab, womit die Einwirkung intensiviert wird. Der eingestellte Füllstand wird in der Anlage

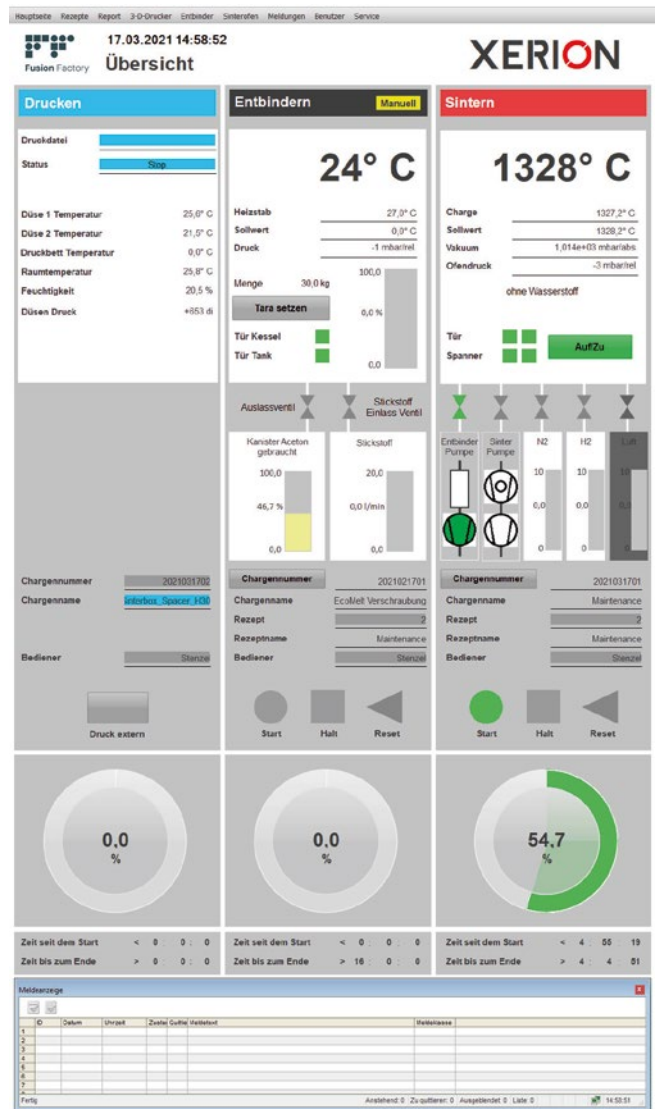


Bild 6 Prozessvisualisierung auf dem 42" Display
(© Xerion Berlin Laboratories)

konstant gehalten, indem verdampfte Anteile automatisch ausgeglichen werden, und der Inertgasstrom über dem Badspiegel wird ebenfalls überwacht. Eine besondere Eigenschaft der Fusion Factory ist die Hinterleuchtung des Entbinderbades, die bei der Kontrolle des Prozesses hilft. Das Sintern erfolgt unter den im Ceramic Injection Moulding üblichen Parametern. Für die oxidischen Keramiken wird eine oxidierende Atmosphäre benötigt und die Sintertemperaturen liegen im Bereich 1.450 °C für ZrO₂ bis zu 1.650 °C für Al₂O₃.

Für die Nitrid- und Carbid-Keramiken werden deutlich höhere Temperaturen in Inertgasatmosphäre benötigt, wofür die Hochtemperaturöfen der Baureihe XGraphit zur Verfügung stehen. Der Sinterschwund ist mit etwa 16-20 % zu veranschlagen und tritt



Bild 7 Vollständiger Report des Herstellungsprozesses (© Xerion Berlin Laboratories)

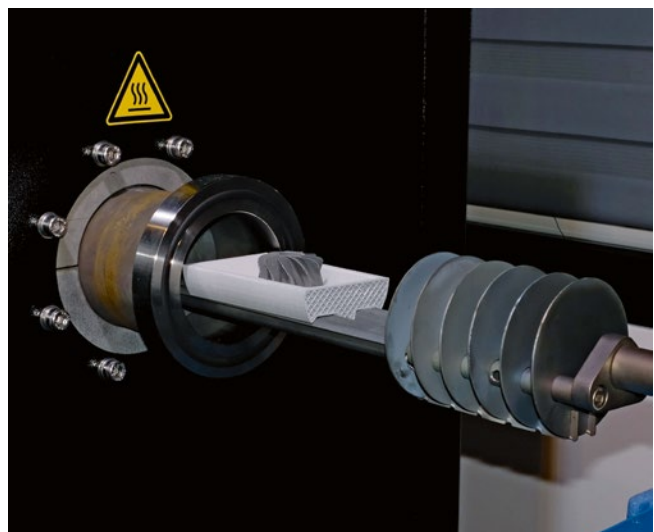


Bild 8 Schiffchen für den Rohrofen (© Xerion Berlin Laboratories)



Bild 9 Sinterboxen mit den Maßen 100 mm x 100 mm x 40 mm (Breite x Tiefe x Höhe) mit Deckel (© Xerion Berlin Laboratories)

annähernd isotrop auf. Über die CAD-Programme ist dieses Übermaß leicht zu kompensieren. Als Brennhilfsmittel können wiederum Keramikbauteile eingesetzt werden, die über diese FFF-Route in der Fusion Factory hergestellt wurden. Es ist somit möglich, eigene Ersatzteile zu produzieren. Die Kontrolleinheit erstellt eine komplette Historie des bei der Herstellung durchlaufenen Prozesses (Bild 7).

Anwendungsbeispiele für Oxidkeramiken

Die im Sinterprozess benötigten Unterlagen, Etageren und Sinterboxen können in der Fusion Factory selbst hergestellt werden. Für das Sintern von Edelstählen im Temperaturbereich bis 1.400 °C werden dabei oxidkeramische Bauteile verwendet.

Beispiel 1: Schiffchen für Rohrofen

Das Bild 8 zeigt ein Schiffchen für einen Rohrofen, das aus Al_2O_3 hergestellt wurde. Die Form weicht dabei von der üblichen Form deutlich ab, wodurch eine Infill-Struktur und Bohrungen zur Fixierung der Chargierstange realisiert werden konnten. Hierbei entsteht eine individuelle Form für das zu sinternde Bauteil und die geringe Masse des Schiffchens verbessert zudem die thermische Dynamik des Sintervorganges. Insbesondere bei kompliziert geformten Sinterbauteilen können Supports und Ausformungen leicht individuell hergestellt werden.

Beispiel 2: Sinterboxen

Keramische Sinterboxen dienen zur Aufnahme des Sintergutes und gleichzeitig zur

Erzielung einer gerichteten Gasströmung (Bild 9). Diese gezielte Beeinflussung der Gasströmung ist notwendig, um die gasförmigen Binderanteile kontrolliert von den Bauteilen wegzuführen und im eigentlichen Sintervorgang Frischgas an die Oberfläche zu befördern. Auch hier können die Wände sehr dünnwandig ausgeführt werden. Die Infill-Strukturen verringern die Masse der Bauteile erheblich und führen zu einer verbesserten Temperaturwechselbeständigkeit.

Beispiel 3: Heißgaskerzen

Zur Filtration und Verteilung von heißem Gas kommen Heißgaskerzen aus Aluminiumoxid zum Einsatz (Bild 10). Durch additive Fertigung in der Fusion Factory können kleinere Stückzahlen in unterschiedlichen Formen hergestellt werden. Auch in diesem Beispiel



Bild 10 Heißgaskerze während des Druckes (links), während der Entbinderung (Mitte) und fertiges Bauteil (rechts) (© Xerion Berlin Laboratories)

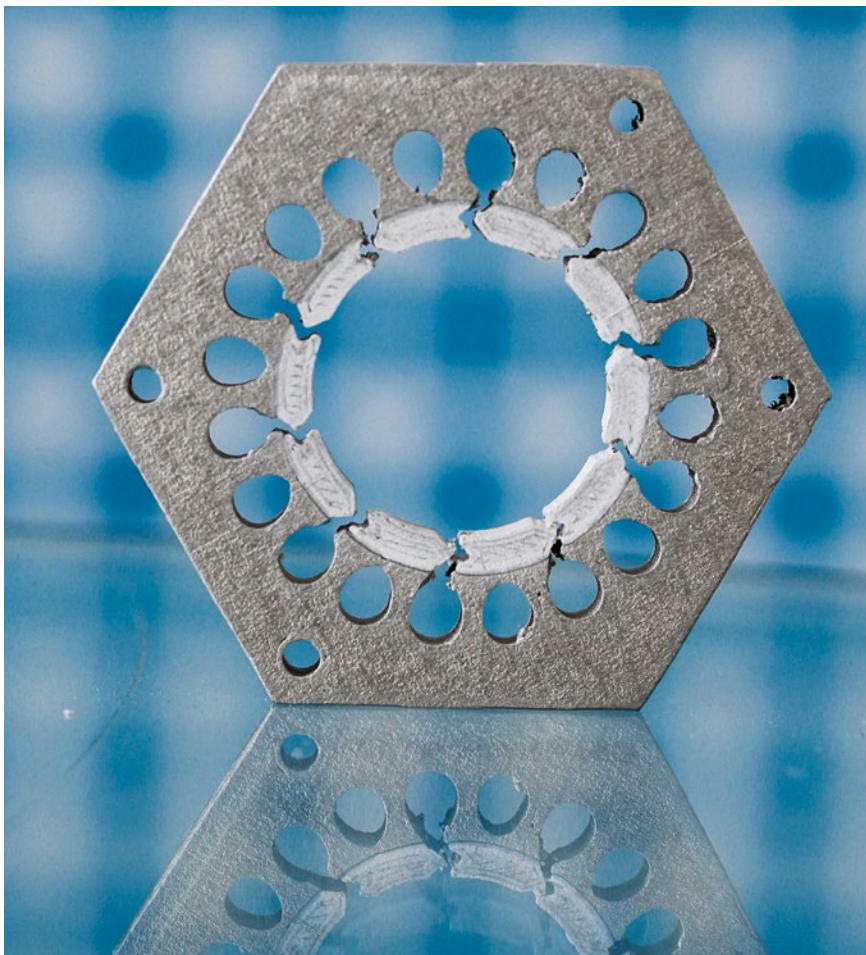


Bild 11 Metall-Keramik-Multimaterialbauteil nach der Sinterung (© Xerion Berlin Laboratories)

helfen Infill-Strukturen, die auftretenden Wärmespannungen zu beherrschen. Am Fuß der Kerze beträgt die Einsatztemperatur etwa 50 °C, während das strömende Gas Temperaturen von bis zu 500 °C aufweisen kann.

Die Zukunft liegt im Multimaterialdruck

Von besonderem Interesse wird in Zukunft die Herstellung von Metall-Keramik-Multimaterialbauteilen sein. Die Herausforderungen des Co-firing-Prozesses können durch die Weiterentwicklung der Filamente und der Sintertechnologie gemeistert werden. Gegenüber dem MIM-Verfahren ergeben sich Vorteile durch die Möglichkeit, geschlossene Porositäten und ‚Lücken‘ zu drucken, die sich durch den Sinterschwund schließen (Bild 11). Die filamentbasierte Herstellung keramischer Bauteile ist eine robuste und ausgereifte Technologie, die spezifische Vorteile hinsichtlich Kosten und Bauteilgestaltung bietet. ◀

Kontakt:

Xerion Berlin Laboratories GmbH, Berlin,
www.xerion.de

1 Geschäftsführer von Xerion Berlin Laboratories GmbH, u.lhose@xerion.de



Ceramics of the future.

GET YOUR
FREE COPY
NOW!

Expertise on all aspects of ceramic technology, in all application-relevant areas and presented at a technical-scientific level, together with the latest major trends and developments. Get the latest information five times a year with the exclusive combination of the **print edition** and **interactive e-magazine**, as well as the online archive, **a unique knowledge database with pdf download function**.

www.my-specialized-knowledge.com/interceram

