

Reinhard Lenk  
 Fraunhofer IKTS  
 Dresden/DE  
 Reinhard.Lenk@  
 ikts.fraunhofer.de

# Produkt- und prozessorientierte Formgebung Technischer Keramik am Beispiel Spritzguss und Extrusion

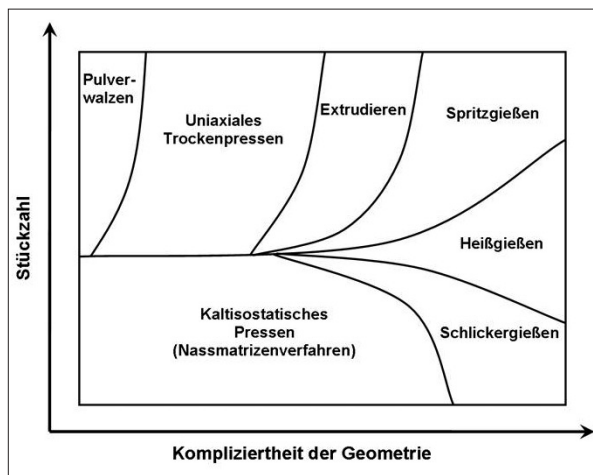
## Einführung

Geometrie und Stückzahl spielen für die Auswahl des geeigneten Formgebungsverfahrens für Keramikkomponenten eine entscheidende Rolle (Bild 1). Extrusion und Spritzguss sind Fertigungstechnologien mit hoher Produktivität und guten Automatisierungsmöglichkeiten auch bei den vor- und nachgelagerten Schritten. Gleichzeitig können mit diesen Verfahren sehr anspruchsvolle Geo-

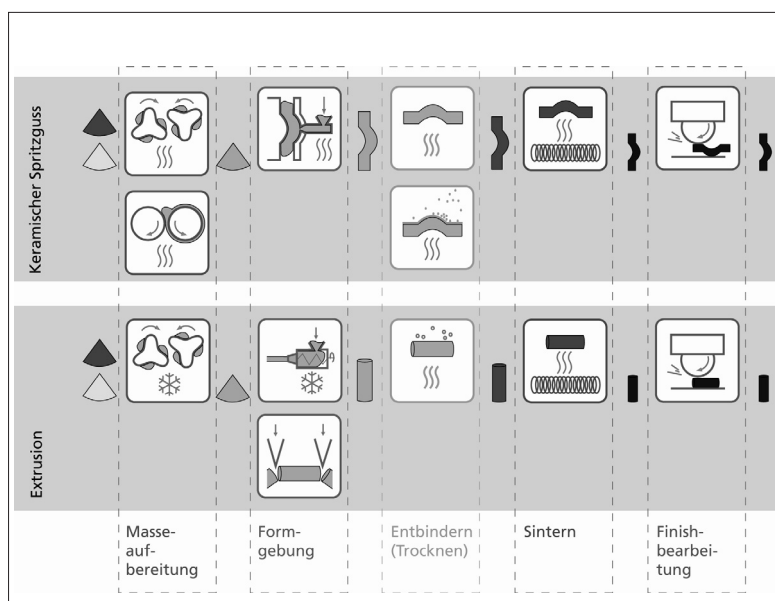
metrien, wie z. B. dünne Wandstärken und kleinste Bohrungen, endformgerecht hergestellt werden. Zusammengefasst als „plastische und thermoplastische Formgebung“<sup>1)</sup> verbinden Extrusion und Spritzguss viele übergreifende Fragestellungen: von der Auswahl geeigneter Binder für eine homogene Plastifizierung und Einstellung definierter rheologischer Eigenschaften über die Modellierung und Simulation der Formgebungsprozesse bis hin zur Zustandscharakterisierung durch zerstörungsfreie Prüfverfahren. Bei beiden Verfahren werden hohe Umformgrade zur Abformung keramischer Massen in Kavitäten komplexer Geometrie genutzt, so dass eine endformnahe oder -gerechte Fertigung auch bei sehr filigran gestalteten Strukturen mit hoher Präzision möglich ist. Beim Spritzguss bilden die Werkzeugkavitäten dabei die Bauteilkontur vollständig ab; die Ausformung erfolgt zyklisch im geschlossenen Werkzeug. Der Prozess des Extrudierens erfolgt dagegen als kontinuierlicher Prozess durch offene Kavitäten, wobei die Mundstücksgeometrie

den Querschnitt des ausgeformten Bauteils abbildet (Bild 2). Unterschiedlich ist das Binderkonzept: Beim Spritzguss werden thermoplastische Binder für die Plastifizierung der keramischen Pulver verwendet. Diese ermöglichen einerseits die Formgebung bei Temperaturen oberhalb ihres Schmelzpunkts, gewährleisten gleichzeitig jedoch auch eine sichere Entformung bei niedrigeren Temperaturen. Im Falle der Extrusion dagegen wird das ton-typische bildsame Verhalten bei Temperaturen nahe Raumtemperatur nachgestellt, indem wasserlösliche Binder auf Cellulosebasis in Kombination mit Gleitmitteln verwendet werden. Bei der Extrusion thermoplastifizierter Massen wird die Formgebung durch Abkühlung des extrudierten Strangs nach Verlassen des Mundstücks unterstützt. Vor dem Ausbrennen der (im Vergleich zum Spritzguss geringeren) organischen Bindemittelanteile ist ein zusätzlicher Trocknungsschritt erforderlich. Das Austreiben der thermoplastischen Bindemittel erfolgt dann wie beim Spritzguss. Spritzguss und Extrusion bieten gute Möglichkeiten für die Entwicklung neuer sowie für die Weiterentwicklung und Leistungssteigerung bestehender Produkte, da sie eine deutliche Erhöhung der Integrationsdichte ermöglichen (z. B. durch die Miniaturisierung spritzgegossener Komponenten oder durch die Verringerung von Wandstärken und Kanaldurchmessern von extrudierten Waben). Viele in der Praxis erfolgreich umgesetzte technologische Lösungen belegen deshalb das hohe Potenzial keramischer Formgebung für Produktinnovationen auf dem Gebiet plastischer und thermoplastischer Formgebung. An zwei aktuellen Entwicklungsbeispielen soll das Zusammenspiel von spezifischem Anforderungsprofil, Werk-

**Bild 1**  
 Auswahl des Formgebungsverfahrens in Abhängigkeit von Bauteilgeometrie und Stückzahl



**Bild 2**  
 Schematische Darstellung der Verfahrensabläufe beim Spritzgießen und Extrudieren von Keramik



<sup>1)</sup> Thema und Einführungsvortrag des DKG-Herbstsymposiums 2009 in Erlangen

stoffkonzept, Produktdesign und Fertigungstechnologie dargestellt werden.

## Hochabscheidender Dieselpartikelfilter der CleanDieselCeramics GmbH<sup>2)</sup>

Im Gegensatz zu den durch große Stückzahlen und Standardisierungsmöglichkeiten geprägten Pkw-Filteranwendungen ist im Nonroad-Bereich ein extrem hoher Grad an Diversifizierung bzgl. Seriengrößen und Formaten zu verzeichnen, wobei noch deutlich höhere Anforderungen an Robustheit, Langlebigkeit und wirtschaftliche Betriebsweise der Filter gestellt werden. Deshalb wurde aus flüssigphasengesintertem Siliziumcarbid (LPS-SiC) ein neues Filtermaterial entwickelt, dessen Porengröße, -verteilung und -volumen den spezifischen Anforderungen der Dieselpartikelfiltration angepasst ist. LPS-SiC kann mit vergleichsweise preiswerten Rohstoffen und bei deutlich niedrigeren Temperaturen (ca. 400 K geringer als nach dem Stand der Technik) hergestellt werden, erreicht aber in Bezug auf Abscheidegrad (>99,5%), Druckverlust und thermomechanische Stabilität eine Spitzenstellung unter den keramischen Filtermaterialien.

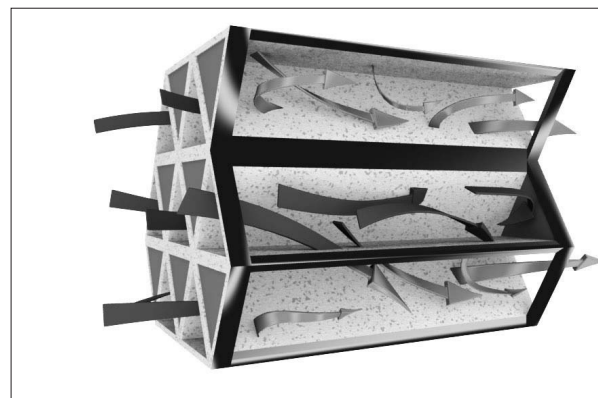
Durch ein neues Filtersegment-Design mit asymmetrischer Trapezgeometrie wird es möglich, die hohe Vielfalt an Filtergeometrien und -größen sehr flexibel herzustellen. Gleichzeitig wird die sonst übliche aufwendige Diamant-Hartbearbeitung vermieden, die nach dem Stand der Technik zu ca. 20 % Materialverlust führt, wodurch schonender mit Material- und Energieressourcen umgegangen werden kann. Die Kanäle im Filter sind mit dreieckigem Querschnitt (Bild 3) gestaltet, so dass bei gleicher Kanaldichte (200 cpsi) eine größere Filterfläche zur Verfügung steht, was sich im Betriebsverhalten mit geringerem Gegendruckzuwachs bei Rußbeladung im Vergleich zum herkömmlichen quadratischen Zelldesign auswirkt. Damit lässt sich im Betrieb der Regenerationszyklus verlängern und Kraftstoff

sparen. Gleichzeitig ermöglicht dieses Design eine höhere Druckfestigkeit und damit eine höhere Robustheit des Filterelements. Die Umsetzung dieses neuen Produktkonzepts mit dem asymmetrischen Segmentdesign begründet jedoch verschiedene technologische Herausforderungen. So müssen die für den Einbau der Filterelemente erforderlichen Form- und Lagetoleranzen, die sonst durch den Hartbearbeitungsschritt gewährleistet werden, schon im keramischen Prozess erreicht werden. Hierzu wird eine speziell entwickelte und auf alle Formate adaptierbare Klebtechnik verwendet, die endformgetreu ohne den Nachbearbeitungsschritt die für das nachfolgende Canning notwendigen Form- und Lagetoleranzen sicher stellt. Besondere Herausforderungen ergeben sich ebenfalls beim Stirnseiten-Zellverschluss der Segmente (beidseitiges druckdichtes Plugging von über einhundert Zellen pro Segment in wenigen Sekunden).

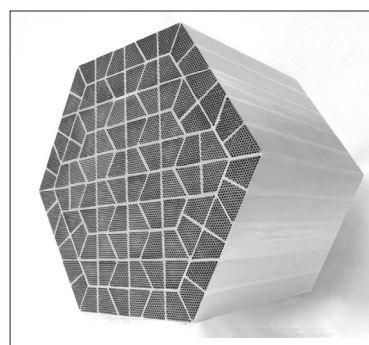
Der Dieselpartikelfilter (Bild 4) wird seit 2008 in der neuen Fertigungsstätte der CleanDieselCeramics GmbH in Großröhrsdorf bei Dresden gefertigt. 2009 wurde das Konzept mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet.

## Grünfolienhinterspritzen von Metall-Keramik-Werkstoffverbunden<sup>3)</sup>

Wesentliche Motivation für neue Werkstoffanwendungen sind Leistungssteigerung, Kostensenkung, Gewichtsreduktion und Platzersparung. Durch die Kombination unterschiedlicher Werkstoffeigenschaften wird eine Erhöhung der Funktionsdichte erreicht. Die Verbindung von Pulverspritzguss und Grünfolientechnik eröffnet dabei interessante Möglichkeiten für die Produktgestaltung mehrkomponentiger Bauteile. Neben zwingend notwendigen Anforderungen an die Kompatibilität der eingesetzten Werkstoffe besteht beim Grünfolienhinterspritzen die wesentliche technologische Herausforderung in der Anpassung der Schwindungseigenschaften der Verbundpartner während der

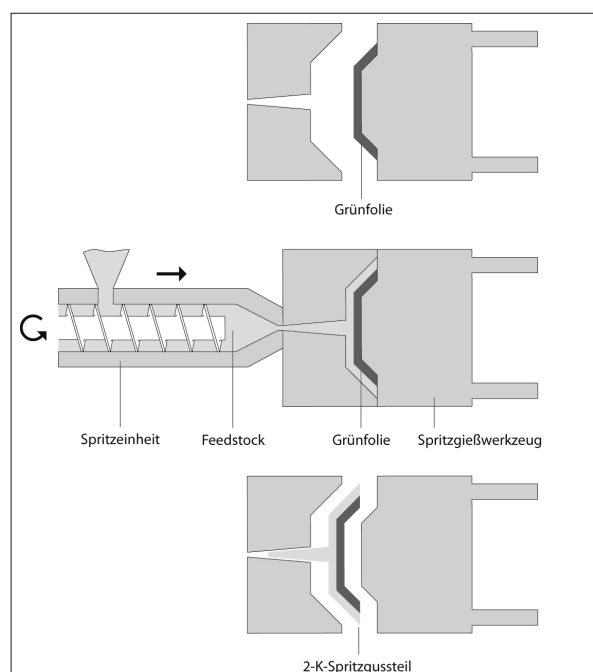


**Bild 3** Prinzipdarstellung der Filtration mit dreieckigen, wechselseitig verschlossenen Kanälen



**Bild 4** Dieselpartikelfilter der CleanDieselCeramics GmbH mit Segmentierung aus asymmetrischen Einzelsegmenten

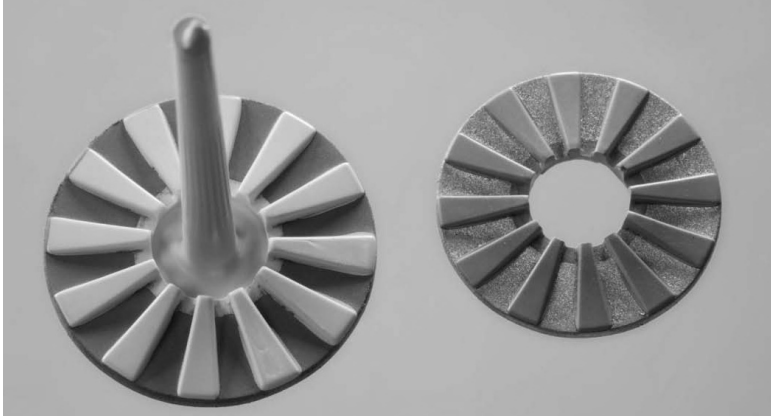
gemeinsamen Entbinderung und Sinterung. Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass die Formgebung von Bauteilen mit dünnen Funktionsschichten wesent-



**Bild 5** Fertigungsablauf beim Grünfolienhinterspritzen von Pulverwerkstoffen

2) Eine gemeinsame Entwicklung des Fraunhofer IKTS mit der CleanDieselCeramics GmbH, gefördert im Rahmen der Technologieförderung mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2000–2006 und mit Mitteln des Freistaats Sachsen. Dem Projektpartner, dem Zuwendungsgeber und dem Projektträger sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

3) Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Programms InnoNet (Förderkennzeichen 16IN0319). Den Projektpartnern, dem Zuwendungsgeber und dem Projektträger sei an dieser Stelle herzlich gedankt.



**Bild 6** Demonstrator aus dem Projekt „GreenTaPIM“<sup>(3)</sup>  
(links nach der Formgebung mit Anguss, rechts gesintert)

lich vereinfacht wird und damit zuverlässiger in eine Serienreihe überführt werden kann, da der eigentliche Spritzgussprozess auf eine Komponente reduziert bleibt. Die Realisierung des Schichtverbundes erfolgt durch das Einlegen von konfektionierten Grünfolien eines Pulverwerkstoffs, die anschließend mit einem aus einem anderen Werkstoff bestehenden Feedstock hintergespritzt werden (Bild 5).

Keramische oder pulvermetallurgische Grünfolien sind in unterschiedlichen Schichtdicken herstellbar und können durch geeignete Folgeprozesse geprägt, d. h. mikrostrukturiert, siebbedruckt, laminiert und gestanzt werden. Beim Spritzgießprozess nehmen die hinterlegten dünnwandigen Folien darüber hinaus durch die Kavitäten vorgegebene komplexe Konturen an. Gleich-

zeitig können extrem dünne Funktionsschichten aus Metall oder Keramik realisiert werden, da im Gegensatz zum herkömmlichen Zweikomponenten-Pulverspritzguss keinerlei Einschränkungen durch begrenzte Fließwege bestehen. Um durch unterschiedliche thermische Ausdehnungen bedingte Spannungen auszugleichen, ist darüber hinaus die Gestaltung der Grünfolien als Schichtverbund mit kontinuierlichem Übergang der Werkstoffzusammensetzung möglich. Ein solches Beispiel ist in Bild 6 dargestellt. Die ausgestanzte Grünfolie aus Pulverstahl wurde unter Nutzung eines automatisierten Handlingsystems in die Werkzeugkavität geführt und anschließend mit Feedstock aus Zirkonoxid in komplexer Geometrie hintergespritzt und abschließend als Verbundbauteil gesintert.

## Ausblick

Keramische Formgebung muss zunächst einmal sicherstellen, dass sich die vom Werkstoff erwarteten Eigenschaften mit hohem Niveau und mit guter Reproduzierbarkeit im Bauteil wiederfinden. Da die wichtigste Eigenschaft eines jeden Produktes jedoch letztendlich der Preis ist, muss die keramische Formgebung darüber hinaus eine kostengünstige Fertigung der keramischen Komponenten in der geforderten Geometrie und Stückzahl ermöglichen. Aber so notwendig diese beiden Bedingungen auch sind – um neue Keramikanwendungen erschließen zu können, erweisen sie sich im Wettbewerb mit anderen Werkstofflösungen oft als nicht ausreichend. Umso wichtiger ist es, die technischen Möglichkeiten der Formgebung bereits in der Produktentstehungsphase zu berücksichtigen und alle durch die spezifischen Fertigungsprozesse gegebenen Freiheitsgrade nutzbar zu machen. Dann kann keramische Formgebung viel mehr sein als Mittel zum Zweck: ein wesentlicher Treiber und eine solide Grundlage für Keramikinnovationen in neuen attraktiven Anwendungen. Die Umsetzung neuer Werkstoffkonzepte mit innovativer plastischer und thermoplastischer Formgebung kann dafür einen wichtigen Beitrag liefern. Hierzu sind gemeinsame Anstrengungen von Werkstoffentwicklung, Fertigungstechnik und Systemanwendung notwendig.