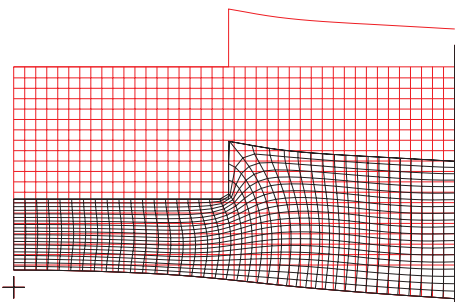
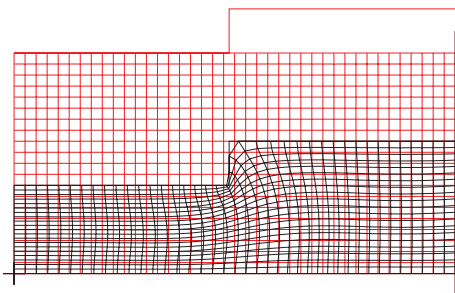


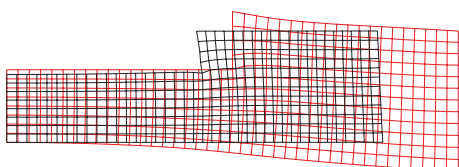
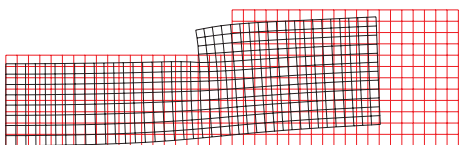
# Simulation von Formgebungsverfahren

Beim Matrizenpressen, einer der wirtschaftlichsten Methoden zur Herstellung von Großserienteilen aus Keramik, ergibt sich bei den meisten Bauteilen aufgrund von unterschiedlichen Verdichtungsgraden und Reibungseffekten eine inhomogene Dichteverteilung im Grünkörper. Beim anschließenden Sintern schrumpfen Bereiche mit hoher Dichte weniger als Bereiche mit niedriger Dichte. Dies kann zu einem unerwünschten Verzug des Bauteils führen. Ziel der numerischen Simulation ist es, den Sinterverzug vorherzusagen und so weit wie möglich durch Optimierung des Pressablaufs und Änderung der Werkzeugform zu kompensieren, so dass beim Sintern formgenaue Teile entstehen.

Pressnetz vor und nach der Verdichtung ohne Stempelkonturierung (oben), mit Stempelkonturierung (unten)



Sinternetz vor und nach dem Sintern ohne Stempelkonturierung (oben), mit Stempelkonturierung (unten), das gesinterte Teil hat jetzt ebene Flächen.



## Korrektur von Sinterverzügen durch rechnerisch ermittelte Stempelkonturierung

Torsten Kraft, Hermann Riedel

Die Simulation erfolgt mit der Methode der Finiten Elemente in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die Dichteverteilung im Grünkörper nach dem Pressen berechnet. Die Gründichteinhomogenität führt beim Sintern zu einem Verzug, der im zweiten Schritt ermittelt wird. Sowohl die Press- als auch die Sintersimulation werden mit dem FE-Programm ABAQUS™ unter Verwendung von am IWM entwickelten Materialmodellen durchgeführt.

Die Modellparameter des für das Matrizenpressen verwendeten erweiterten Drucker-Prager-Cap-Modells werden durch eine Reihe von Versuchen festgelegt, unter anderem durch Messung der Grünfestigkeit und durch Triaxialversuche. Weiterhin wird am Fraunhofer IWM der Reibungskoeffizient zwischen Pulver und Werkzeug gemessen. Für die entwickelten Sintermodelle des Festphasen- und Flüssigphasensinterns werden die Werkstoffparameter mit Hilfe eines einfachen Sinterumformversuchs bestimmt, bei dem für verschiedene Ofenkurven und axiale Belastungen die axiale und radiale Dehnung kleiner Zylinderproben kontinuierlich gemessen werden.

## Stempelkonturierung

Allein durch Optimierung des Pressablaufs kann im allgemeinen der unerwünschte Verzug eines gesinterten Bauteils nicht vollständig verhindert werden. Eine weitere Methode, die erst durch Einsatz der numerischen Simulation möglich wurde, besteht in der Bestimmung einer Stempelform, die den Verzug zum Beispiel von Ober- und Unterseite oder von Bohrungen gerade kompensiert.

Als einfaches Demonstrationsbeispiel wurde das FE-Netz einer axisymmetrischen Scheibe mit 40 mm Durchmesser vor und nach der Verdichtung berechnet. Die großen Dichteinhomogenitäten, die eine Folge des ungeteilten Oberstempels sind, bewirken einen starken Verzug des Bauteils beim Sintern. Durch automatische Optimierung der Stempelkonturen kann selbst bei diesem ungünstigen Pressablauf ein Bauteil ohne Verzug hergestellt werden. Dabei wird in einem iterativen Verfahren die Abweichung von der Sollform automatisch bestimmt und die Geometrie der Stempel sowie der FE-Netze entsprechend korrigiert. In jedem Iterationsschritt erfolgt eine Press- und eine Sintersimulation. Schon nach zwei bis drei Iterationen wird eine deutliche Abnahme der Unebenheit vorhergesagt.

### Anwendungsbeispiel: keramische Dichtscheibe

Die Methode der Optimierung der Stempelkonturen wurde inzwischen auch auf reale Bauteile mit Erfolg angewandt, zum Beispiel auf eine Dichtscheibe aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Bei diesem Bauteil hat die Simulation des Pressens und Sinterns ohne Stempelkonturierung gezeigt, dass sich als Folge der

Werkzeuggeometrie und des Pressablaufs eine sehr inhomogene Dichteverteilung und damit ein Verzug des Bauteils ergibt. Zur Minimierung der Unebenheit der Dichtflächen wird nun die Methode der Stempelkonturierung eingesetzt. Während das Pressen mit ebenen Stempeln zu einer maximalen Unebenheit von 0,2 mm führt, wird schon nach zwei Iterationen eine maximale Unebenheit von unter 0,02 mm vorhergesagt.

### Zusammenfassung

Mit Hilfe der numerischen Simulation lassen sich also Dichteverteilungen nach dem Trockenpressen und Formänderungsvorgänge beim Sintern vorhersagen. Damit ist ein Werkzeug verfügbar, das den hohen experimentellen Aufwand bei der Optimierung von Presswerkzeugen und von Formgebungs- und Bearbeitungsvorgängen minimieren kann.

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen eines FORKERAM-Projekts (Teilprojekt II-1) in Zusammenarbeit mit der CeramTec AG in Lauf, der ANCeram GmbH & Co. KG in Bindlach und der TeCe GmbH & Co. KG in Selb durchgeführt.

