

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 18955 BG

Thema

Füllverhalten, Schüttungszustand und resultierende Qualität keramischer Bauteile
- Prozessführung und Prozessdesign von Matrizenfüllsystemen

Berichtszeitraum

01.03.2016 - 31.06.2018

Forschungsvereinigung

Forschungsgemeinschaft der DKG e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Forschungseinrichtung 1:

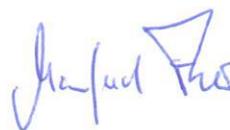
Fraunhofer-Gesellschaft e.V., Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)

Forschungseinrichtung 2:

Fraunhofer-Gesellschaft e.V., Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM)

Dresden / Freiburg, 05.10.2018

Ort, Datum

Dr. Manfred Fries / Dr. Torsten Kraft

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Inhalt

1. Projektziele und Lösungsweg.....	5
1.1. Projektziele	5
1.2. Lösungsweg und Struktur des Berichtes	6
2. Projektergebnisse im Detail.....	7
2.1. Modellgranulate (AP 1)	7
2.2. Methodenerweiterung (AP 2)	9
2.2.1. Erweiterung experimenteller prozessnaher Methoden (AP 2-I)	9
2.2.2. Charakterisierung von Presskörpern	14
2.2.3. Numerische Methodenerweiterung (AP 2-III)	15
2.3. Identifizierung grundlegender Mechanismen der Schüttguthistorie mittels Simulation (AP3).....	21
2.4. Experimentelle Untersuchungen mittels prozessnaher Methoden (AP4)	25
2.4.1. Visualisierung und Analyse von Fließbewegungen in der Transportstrecke	25
2.4.2. Entmischung des Granulates über der Transportstrecke Silo – Füllschuh.....	27
2.4.3. Bewertung des Granulatverhaltens im Füllschuh	30
2.4.4. Einfluss von design- und prozessseitigen Parametern auf das Füllverhalten	34
2.4.5. Untersuchung der Dichteverteilung einer leicht verdichteten Schüttung in Abhängigkeit von gezielt eingestellten Schüttungsstrukturen in der Granulatschüttung.....	51
2.5. Versuche an industriellen Pressstrecken für ausgewählte Modellgranulate und Prozessparameter mit begleitenden Simulationen (AP5)	55
2.5.1. Ergebnisse Füllen und Presskörpereigenschaften	55
2.5.2. Sinterung und Auswertung der Sinterkörper.....	60
2.5.3. Simulationsergebnisse	61
2.6. Optimierungsstudie (AP6).....	65
2.6.1. Simulation	65
2.6.2. Experimentelle Versuche mit optimierten Parametern.....	69
2.7. Prozessverständnis (AP 7) - Zusammenfassung der Projektergebnisse	74
3. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten.....	83
4. Verwendung der Zuwendung	85
5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	85
6. Ergebnistransfer.....	86
6.1. Stand und Plan zum Ergebnistransfer.....	86
7.1. Bisherige Veröffentlichungen zu Projektergebnissen.....	87

7.2. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten
Transferkonzepts 88

8. Förderhinweis 89

1. Projektziele und Lösungsweg

1.1. Projektziele

Eigenschaftskonstanz und Qualität der über die pulvertechnologische Fertigungsroute durch uniaxiales Trockenpressen hergestellten keramischen Formkörper werden wesentlich durch den Prozessschritt des Matrizenfüllens bestimmt. In der industriellen Praxis gilt es, für beliebige Granulate mit unterschiedlichen Fließeigenschaften die Prozessparameter (z.B. Füllschuhgeschwindigkeit, Bewegungssequenz) oder das Design der Transportstrecke (z.B. Füllschuhgeometrie, Produktzuführung) gezielt anzupassen, so dass stets ein optimaler Füllprozess sowie ein optimales Füll- und Pressergebnis gewährleistet ist. Dabei steigen die Anforderungen an die Prozessgestaltung mit zunehmender Komplexität der Bauteil- und damit der Matrizengeometrie. Ein detailliertes Prozessverständnis sowie Kenntnisse über die qualitätsbestimmenden, prozesseitigen Einflussgrößen sind daher von immenser Bedeutung.

Die Zusammenhänge zwischen den Einflussgrößen sind aufgrund vielfältiger Wechselwirkungen sehr komplex. Deren systematische und grundlegende experimentelle Analyse ist von einzelnen KMU's nicht zu bewältigen. Simulationstools als Hilfsmittel sind nicht etabliert. Auch liegen keine Forschungsarbeiten vor, welche sich umfänglich mit dem Einfluss von Design- und Prozessgrößen unter der Randbedingung unterschiedlicher Eigenschaften keramischer Pressgranulate befassen. Eine durchgängige Betrachtung aller relevanten granulat- und prozesseitigen Einflüsse auf das Matrizenfüllen mit Fokus auf die für die Industrie entscheidenden Bauteileigenschaften ist bisher ebenfalls nicht erfolgt.

Das Hauptziel des Projektes »Füllsysteme« war die Erarbeitung von Regeln zur Optimierung des Matrizenfüllprozesses auf Design- und Prozessebene, um eine Reduktion der Streubreite des Füllergebnisses, die Verbesserung der Bauteilqualität und die Effizienzsteigerung des Prozesses zu gewährleisten. Die gesamte Transportstrecke vom Vorlagebehälter bis zu Matrize stand dabei im Fokus.

Zum Erreichen des Forschungsziels sollten folgende Fragenstellungen beantwortet werden:

Transportstrecke/Füllvorgang/Füllergebnis

- Wie lassen sich Schüttungszustand und Fließmechanismen in der Transportstrecke bewerten?
- Welche Schüttungszustände und Phänomene sind in der Transportstrecke zu beobachten? Welchen Einfluss haben diese auf den Füllvorgang?
- Wie wirken sich prozesseitige Einflussgrößen auf den Füllvorgang und die resultierende Schüttungsstruktur aus? Welche sind starke / schwache Einflussgrößen?
- Haben bestimmte prozesseitige Einflussgrößen bei unterschiedlichen Granulareigenschaften einen stärkeren bzw. schwächeren Einfluss?

Prozessergebnis:

- Welche Auswirkung hat die Schüttungsstruktur in der Matrize auf Dichtegradienten im gepressten Grünkörper und die Eigenschaften des gesinterten Bauteils?
- Was sind Mindestbedingungen hinsichtlich des Füllergebnisses?

Mit den Ergebnissen aus dem aktuellen Projekt (»Füllsysteme«) sowie denen aus dem Vorgängerprojekt »Matrizenfüllen« erhält die keramische Industrie ein methodisches

Instrumentarium für die Prozessbewertung sowie die Erarbeitung von Korrelationen und eigenen Optimierungsregeln zur Granulatentwicklung und Prozessgestaltung. Hiervon profitieren auch Entwickler von Granulaten sowie Pressenhersteller.

1.2. Lösungsweg und Struktur des Berichtes

Durch Kombination von numerischen und prozessnahen experimentellen Methoden mit Untersuchungen an einer industriellen Pressstrecke wurde der Prozess des Matrizenfüllens umfassend analysiert. Neben der engen Zusammenarbeit der beiden Forschungseinrichtungen erforderte der Projektansatz den engen Kontakt mit dem Projektbegleitenden Ausschuss, um eine praxis-orientierte Umsetzung zu gewährleisten. Neben der intensiven inhaltlichen Projektbegleitung waren die einzelnen Industriepartner durch Eigenleistungen direkt in Projektaufgaben involviert und leisteten, z.B. durch die Bereitstellung von Granulat (AP1) oder die Durchführung von Pressversuchen (AP5) einen wesentlichen Beitrag im Rahmen des Gesamtprojektes.

Grundvoraussetzung für die Arbeiten im Projekt »Füllsysteme« war die Weiterentwicklung und Qualifizierung der experimentellen, prozessnahen sowie der numerischen Analysemethoden (AP 2). Die experimentellen Methoden fanden sowohl bei der Korrelation zwischen Prozessdesign / -parametern und Füllvorgang / -ergebnis als auch bei der Bewertung des Schüttungszustands in der Transportstrecke Anwendung (AP 4). Die Untersuchungen erfolgten für eine Auswahl typischer Granulate (AP 1) mit definiert unterschiedlichen Granulateigenschaften sowie Füllverhalten. Mittels der numerischen Methoden wurde die Transportstrecke des Matrizenfüllens abgebildet und das grundlegende Verhalten der Granulatschüttung in Teilbereichen simuliert (AP 3). Optimierungsstudien unter Variation von Prozessdesign und -führung waren ein weiterer Schwerpunkt (AP 6). Durch Untersuchungen an einer industriellen Pressstrecke wurden füllbedingte Schwankungen von Presskörper- und Bauteilqualität identifiziert (AP 5).

Die Darstellung der Projektergebnisse erfolgt detailliert in den nach Arbeitspaketen sortierten Kapiteln. Zusammengeführt und durch die Beantwortung der im vorherigen Abschnitt aufgeführten Fragestellungen, ermöglichen diese Ergebnisse ein grundlegendes Prozessverständnis sowie die Erreichung des eigentlichen Projektziels, der Erarbeitung von Optimierungsregeln auf Design- und Prozessebene (AP 7).