

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR KERAMISCHE TECHNOLOGIEN UND SYSTEME IKTS

# ENTWICKLUNG EINES OPTISCHEN INLINE- VERFAHRENS ZUR ZERSTÖRUNGSFREIEN PRÜFUNG KERAMISCHER HOCHLEISTUNGS- BAUTEILE

- OptiKer -

**Dr. Beatrice Bendjus<sup>1</sup>**  
**Dr. Ulana Cikalova<sup>1</sup>**  
**Lili Chen<sup>1</sup>**  
**Gundula Fischer<sup>2</sup>**  
**Birgit Köhler<sup>2</sup>**

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

<sup>1</sup>Maria-Reiche-Straße 2, 01109 Dresden

<sup>2</sup>Michael-Faraday-Straße 1, 07629 Hermsdorf

Projektträger: AiF e.V.

Förderkennzeichen: 20012BR

Zuwendungsbescheid vom: 01.03.2018

Unsere Projektnummer: 068-130532

Berichtsnummer: 068-B21-015-AB-130532

Vertraulichkeit: vertraulich

Dresden/Hermsdorf, 15.04.2021

Externe Freigabe

**Mike Roellig**

Digital unterschrieben  
von Mike Roellig  
Datum: 2021.06.30  
14:05:12 +02'00'

Abteilungsleiter

**Beatrice  
Bendjus**

Digital unterschrieben  
von Beatrice Bendjus  
Datum: 2021.06.30  
13:35:32 +02'00'

Projektleiter



Management  
System  
ISO 9001:2015  
ISO 14001:2015

www.tuv.com  
ID 1100005194

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 20012BR

## Thema

Entwicklung eines optischen Inline-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung keramischer Hochleistungsbauteile

## Berichtszeitraum

01.03.2018 bis 31.12.2020

## Forschungsvereinigung

Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V. (FDKG)

Bergerstrasse 145a

51145 Köln

## Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme

Standort Dresden-Klotzsche (IKTS-MD)

Maria-Reiche-Str. 2

01109 Dresden

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme

Standort Hermsdorf (IKTS-HD)

Michael-Faraday-Str. 1

07629 Hermsdorf

Gefördert durch:

## Inhalt

Thema .....	1
Berichtszeitraum.....	1
Forschungsvereinigung .....	1
Forschungseinrichtung(en) .....	1
1 Zusammenfassung .....	3
2 Einleitung.....	4
3 Stand der Technik .....	5
3.1 Verfahren der Keramikherstellung .....	5
3.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Fehlererkennung .....	6
3.3 Laser-Speckle-Photometrie.....	8
4 Ergebnisse und Diskussion .....	11
4.1 Werkstoffherstellung dichte Keramik.....	11
4.2 Werkstoffherstellung poröse Keramik .....	13
4.3 Versuchsstand LSP.....	15
4.3.1 Anforderungskatalog für LSP .....	15
4.3.2 Aufbau der optischen LSP-Sensorik.....	16
4.3.3 Entwicklung der LSP-Algorithmen .....	19
4.3.4 Prüfung der keramischen Proben .....	24
4.4 Referenzieren .....	29
4.4.1 Prüfung der Porosität.....	29
4.4.2 Nachweis der Defekt .....	30
4.5 Konzeptentwicklung von Demonstrator zur inline-Qualitätskontrolle.....	31
4.5.1 Testläufe und Optimierung von Versuchsstands für inline-Anwendungen.....	31
4.5.2 End-of-Line-Qualitätssicherung von keramischen Proben.....	34
4.5.3 Erarbeitung eines Konzepts zur Inline-Prüfung an keramischen Proben.....	35
4.5.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit .....	36
5 Zusammenfassung der Ergebnisse entsprechend des Arbeitsplans im Überblick .....	37
6 Darstellung des wissenschaftliche-technischen und wirtschaftlichen Nutzen der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU.....	38
7 Verwendung der Zuwendung.....	40
8 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft .....	42
9 Veröffentlichung zu Projektergebnissen .....	44

## 1 Zusammenfassung

Die Charakterisierung keramischer Produkte ist besonders im Bereich der Hochleistungskeramiken wichtig zur Sicherstellung der Qualität. Trotz optimierter Fertigungstechnologien treten bei der Herstellung aufgrund der Komplexität der Prozesse noch viele Fehler auf, deren Erkennung und Beseitigung sehr zeit- und kostenintensiv ist. Zu den häufigsten Fehlerbildern zählen Risse, Ausbrüche und Einschlüsse. Eine übliche Qualitätsprüfung zur Identifizierung dieser Fehler am Bauteil ist beispielsweise die Sichtkontrolle. Die Erkennbarkeit der Fehler ist dabei subjektiv und größenabhängig. Etablierte zerstörungsfreie Prüfmethoden sind in der Regel aufwendig, die Proben werden durch Laborgeräte einzeln gescannt und die Geräte können nur schlecht oder gar nicht in den Produktionsprozess eingebunden werden. Es besteht jedoch ein hoher wirtschaftlicher Bedarf an Verfahren, die schnell arbeiten und in Produktionslinien integriert werden können, um wichtige Qualitätskenngrößen lokal zu überprüfen und Fehlstellen zu detektieren.

Ausgehend vom Stand der Technik sollte im Rahmen des Vorhabens OptiKer ein neuartiges, auf dem innovativen Prinzip der Laser-Speckle-Photometrie [1] basierendes Konzept für die Qualitätsüberwachung von keramischen Werkstoffen am Beispiel von dichten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Bauteilen (auch Na- $\beta$ -Aluminat) und porösen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - sowie SiC-Keramiken entwickelt und umgesetzt werden. Hierdurch sollten perspektivisch Bauteildefekte und Materialkennwerte während des Fertigungsprozesses detektiert werden.

Basierend auf den Untersuchungen des Projekts wurde nachgewiesen, dass die LSP für Inline-Inspektionen der keramischen Werkstoffe eingesetzt werden kann. Die minimal vorhandene Defektgröße in den bereitgestellten Proben betrug ungefähr  $70\ \mu\text{m}$  und wurde durch die LSP-Technik problemlos erfasst.

Die LSP-Technik kann nicht nur für Sinterkeramik, sondern auch für die nicht gesinterte Keramik verwendet werden. In diesem Fall kann die LSP angewendet werden, um Inspektionen in fast allen Phasen des Produktionsprozesses durchzuführen.

Auch die Porosität des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  konnte mittels LSP-Messungen charakterisiert werden. Demzufolge bietet LSP die Möglichkeit, in zukünftigen Inline-Anwendungen verschiedene Aufgaben mit einem einzigen integrierten Messaufbau auszuführen.

Zur Anwendung des Messsystems wurden geeignete Algorithmen zur Auswertung der Speckle-Dynamik in anwendungstaugliche Softwaretools implementiert.

Das Endergebnis des Projekts OptiKer wurde in Form eines modularen Demonstrator-Messsystems veranschaulicht. Es wurde eine kompatible Software entwickelt, um den Demonstrator zu steuern und die Echtzeitergebnisse während der Messungen darzustellen. Der LSP-Demonstrator beinhaltet einen Tischroboter, der sich mit einer mechanischen Auflösung von  $30\ \mu\text{m}$  frei in alle drei Richtungen bewegen kann. Aktuell können Proben mit einer Größe von bis zu  $20 \times 20\ \text{cm}^2$  mit einem definierten Scanfenster gescannt werden. Bei Verwendung verschiedener Objektive beträgt die maximale optische Auflösung des LSP-Systems ca.  $10\ \mu\text{m}$ .

## 2 Einleitung

Auf Grund besonderer struktureller und funktioneller Eigenschaften der technischen Keramik kommt der Keramikktechnologie bei der Sicherung des technischen Vorsprungs in vielen Wachstumsgebieten der Industrie eine besondere Rolle zu. Sie liefert für unterschiedlichste Systeme wettbewerbsentscheidende Schlüsselkomponenten, z.B. hochporöses  $\text{Al}_2\text{O}_3$  für die Flüssigfiltration, Katalysatoren oder Abgasfilter aus porösem Cordierit, hochdichte, verschleißfeste und temperaturbeständige  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramikbauteile für Sensoren oder Reaktoren bzw. dichtes Na- $\beta$ '-Aluminat als Festelektrolyt-Hochtemperatur-Energiespeicher. Keramiken sind damit wichtige Hoffnungsträger für technologische Durchbrüche bei den großen Herausforderungen der Zukunft wie Ressourcenknappheit (z. B. Trinkwasser), Energiebedarf und Umwelt [2].

Für die Realisierung der genannten Anwendungen sind qualitativ hochwertige keramische Produkte und Komponenten mit einer langen Lebensdauer unabdingbar. Die Charakterisierung keramischer, gepresster, extrudierter oder gegossener und gesinterter Produkte ist besonders im Bereich der Hochleistungskeramiken eine wichtige Inspektionsaufgabe zur Sicherstellung deren Qualität.

Trotz optimierter Fertigungstechnologien treten bei der Herstellung von Keramik aufgrund der Komplexität der Prozesse noch viele Fehler auf, deren Beseitigung sehr zeit- und kostenintensiv ist. Zu den häufigsten Fehlerbildern zählen Risse, Ausbrüche und Einschlüsse. Eine übliche Qualitätsprüfung zur Identifizierung dieser Fehler am Bauteil ist beispielsweise die Sichtkontrolle. Die Erkennbarkeit der Fehler ist dabei subjektiv und größenabhängig. Außerdem gibt es eine ganze Reihe von zerstörungsfreien Prüfmethoden auf der Basis von Röntgen-Transmissions- und -Rückstreuungstechniken [3] [4], von Ultraschall-Remission [5] [6] [7] mit der Zielsetzung, Fehler in der oberflächennahen Zone sowie in der Tiefe dieser Produkte zu erkennen. Diese Verfahren sind in der Regel aufwendig, die Proben werden durch Laborgeräte einzeln gescannt und die Geräte können nur schlecht oder gar nicht in den Produktionsprozess eingebunden werden. Es besteht demzufolge ein hoher wirtschaftlicher Bedarf an Verfahren, welche schnell arbeiten und in Produktionslinien integriert werden können, um wichtige Qualitätskenngrößen lokal zu überprüfen und Fehlstellen zu detektieren. Bauteilausfälle in der Anwendung können Sicherheitsrisiken und hohe finanzielle Verluste für Hersteller und Nutzer zur Folge haben.

Die zeitaufgelöste Laser-Speckle-Photometrie (LSP) [1] als neues optisches Verfahren für die keramische Industrie, das auf der Auswertung der zeitlichen Veränderung von Speckle-Mustern basiert, eröffnet die Möglichkeit, die Porosität und Oberflächendefekte verschiedener Art und Größe ohne größeren Aufwand zu ermitteln. Es zeichnet sich durch einen einfachen, robusten Aufbau und im Vergleich zu konkurrierenden Messmethoden geringe Kosten aus. Die extrem kurzen Messzeiten prädestinieren es für den inline-Einsatz in der industriellen Produktion und für in-situ-Messungen bei Wartungs- und Reparaturaufgaben.