

# Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 17755 BR

## Thema

Entwicklung neuartiger Glasheizelemente und Bauteile mit integrierten Thermofühlern über 2-Komponenten Spritzguss sinterfähiger und elektrisch leitfähiger Glas-Carbon-Komposite (2K Sinterglas)

## Berichtszeitraum

01.09.2014-31.05.2017

## Forschungsvereinigung

Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft

## Forschungsstelle(n)

Fraunhofer-Insitut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)

Dresden

20.10.17

Ort, Datum



Dr.-Ing. Tassilo Moritz

Name und Unterschrift aller Projektleiter der Forschungsstelle(n)



## Inhalt

1	Einleitung .....	3
2	Wissenschaftlich-Technische Ergebnisse.....	4
2.1	Materialauswahl .....	4
2.1.1	Verwendete Rohstoffe.....	4
2.1.2	Pulverkonfektionierung.....	5
2.2	Feedstockentwicklung .....	7
2.2.1	Rezepturenentwicklung .....	8
2.2.2	Feedstockaufbereitung.....	12
2.2.3	Herstellung von Testbauteilen .....	14
2.2.4	Entwicklung Entbinderung.....	16
2.3	Entwicklung der Sinterprozesse .....	18
2.3.1	Sintermechanismus bei Glaspulvern .....	18
2.3.2	Bestimmung des Sinterverhaltens.....	18
2.3.3	Entwicklung Sinterregime.....	20
2.3.4	Kristallisationseffekte bei 8330 .....	25
2.4	Elektrische Eigenschaften .....	27
2.4.1	Spezifischer Widerstand.....	27
2.4.2	Einfluss Graphitanteil .....	29
2.4.3	Einfluss Aufbereitungsmethode.....	30
2.4.4	Zyklusstabilität .....	31
2.5	Mechanische Eigenschaften .....	32
2.6	Thermische Eigenschaften.....	37
2.6.1	Thermische Ausdehnung .....	37
2.6.2	Wärmeleitfähigkeit.....	39
2.7	Entwicklung 2K-Spritzguss.....	40
2.7.1	Schwindungsanpassung .....	40
2.7.2	2K-Testbauteile.....	42
2.8	Demonstratorentwicklung.....	43
2.8.1	Auslegung beheizbare Düse .....	43
2.8.2	Werkzeugkonzept .....	44
2.8.3	Spritzgießen.....	44
2.8.4	Anpassung Entbinderungs- und Sinterregime .....	47

2.9	Charakterisierung der Demonstratoren .....	49
2.9.1	Grenzfläche.....	49
2.9.2	Heizverhalten .....	51
2.10	Zusammenfassung.....	56
3	Verwendung der Zuwendung .....	57
4	Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeiten .....	57
5	wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen.....	58
6	Plan zum Ergebnistransfer .....	58
7	Literatur.....	60
8	Förderhinweis .....	60

## 1 Einleitung

Für Heizanwendungen werden häufig Leistungs- oder Dämpfungswiderstände verwendet, die elektrische Energie in Wärme umsetzen. Die leitfähige Komponente besteht entweder aus geeigneten metallischen Widerstandslegierungen oder aus reinen Kohlenstoffphasen mit nahezu unveränderbaren spezifischen Widerständen. Die Umsetzung des Prinzips in elektrotechnische Bauteile ist mit erheblichem Aufwand in der Aufbau- und Verbindungstechnik verbunden und kann zu sehr großen und schweren Komponenten führen. So weit wie Produkte unter Verwendung solcher Technologien auch entwickelt und im Massenmarkt etabliert sind, scheinen sie dennoch mit Nachteilen behaftet zu sein. Zu einem muss eine zuverlässige elektrisch isolierende, chemisch stabile und funktionelle Einhausung für die elektrischen Elemente vorgesehen werden (z.T. auch zusätzlich Kühlkörper).

Die Materialklasse der Glas-Carbon-Komposite bietet einen alternativen Lösungsansatz, um kostengünstige, in ihrer Leitfähigkeit variabel einstellbare und geometrisch komplex geformte Heizelemente herzustellen. Bei den Glas-Carbon-Compositen wird in eine isolierende Glasmatrix eine leitfähige Phase eingebracht. Ab einer gewissen Menge und Verteilung des Zusatzstoffes wird die Perkolationsschwelle überschritten und es bilden sich leitfähige Pfade. In Abbildung 1 ist ein derartiges Gefüge gezeigt. Durch die OHMSchen Verluste kommt es bei Stromfluss zur Erwärmung.

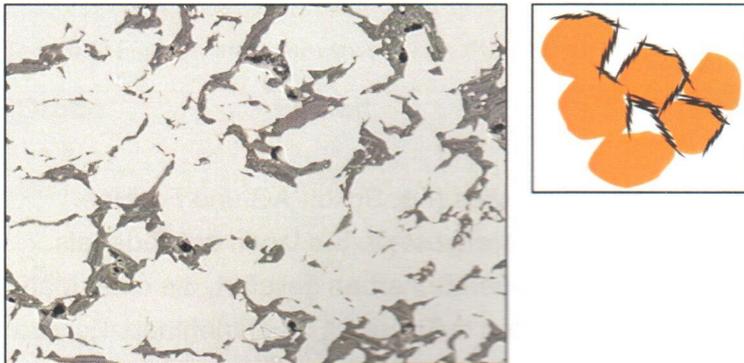


Abbildung 1: Gefüge eines Glas-Carbon-Komposits mit Wirkphase Graphit und schematischer Darstellung der Leitpfade innerhalb des Gefüges bei Überschreiten der Perkolationsschwelle

Konventionelle Glasformgebungsmethoden (wie Blasen, Ziehen, Gießen) beinhalten immer einen Schmelzprozess. Aufgrund der hohen Verarbeitungstemperaturen können auf diese Weise kaum zweiphasige Gefüge hergestellt werden, da die dispergierte Phase, in diesem Fall der Kohlenstoff, stark geschädigt oder vollständig zersetzt werden würde. Daher wird im Projekt eine pulvertechnologische Route mit anschließender Sinterung verfolgt. Als Formgebungsmethode kommt das Pulverspritzgießen zum Einsatz, mit dem Bauteile mit sehr komplexer Geometrie in großer Stückzahl kostengünstig gefertigt werden kann. Für eine hohe Funktionsintegration wird im Projekt das Zwei-Komponenten-Spritzgießen entwickelt, bei dem gleichzeitig die elektrisch leitfähige und die isolierende Komponente eines Heizerbauteils geformt und zu einem Verbund co-gesintert werden. Damit werden nicht nur aufwändige Fügenschritte eingespart, sondern auch vielfältige Gestaltungsoptionen, die die Grenzfläche einschließen eröffnet.