

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19500 BG

## Thema

Zuverlässige Metall-Keramik-Verbunde über das Reaktivlöten an Luft mittels alternativer Erwärmungsverfahren (MetCeRAB)

## Berichtszeitraum

01.05.2017 - 31.12.2019

## Forschungsvereinigung

Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.

## Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl für Werkstofftechnologie

*Dresden 28.02.2020*

Ort, Datum

*Jordan Polak*

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

FRAUNHOFER-INSTITUT  
Keramische Technologien  
und Systeme-IKTS  
Winterbergstraße 28  
D-01277 Dresden

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19500 BG

## Thema

Zuverlässige Metall-Keramik-Verbunde über das Reaktivlöten an Luft mittels alternativer Erwärmungsverfahren (MetCeRAB)

## Berichtszeitraum

01.05.2017 - 31.12.2019

## Forschungsvereinigung

Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.

## Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl für Werkstofftechnologie



*Dortmund, 28.02.2020*

Ort, Datum

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

Gefördert durch:

## Inhaltsverzeichnis

Thema.....	1
Berichtszeitraum.....	1
Forschungsvereinigung .....	1
Forschungseinrichtung(en).....	1
Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse.....	3
Lot- und Prozessentwicklung / Arbeitspaket 1.....	3
Lötpartner und Bauteilgeometrie ( <b>beide Forschungseinrichtungen</b> ) .....	3
Kommerzielle Lote und Lotentwicklung ( <b>Fraunhofer IKTS</b> ) .....	4
Verfahrensentwicklung / Arbeitspaket 2.....	6
Experimentelle Durchführung der Ofenlötungen ( <b>TU Dortmund</b> ).....	6
Ergebnisse zur Ofenlötung ( <b>TU Dortmund</b> ) .....	7
Luftlöten mit Ofen der Fa. Bach RC ( <b>Fraunhofer IKTS</b> ).....	17
Induktionslöten ( <b>Fraunhofer IKTS</b> ) .....	17
Qualitätssicherung / Arbeitspaket 3.....	20
Analyse und Vergleich der entwickelten Lote und Prozesse ( <b>Fraunhofer IKTS</b> ).....	20
In-situ Messung während des RAB-Lötprozesses ( <b>TU Dortmund</b> ) .....	20
Implementierung / Arbeitspaket 4 .....	26
Zugversuche an Keramik-Stahl-Verbänden nach Induktionslöten ( <b>Fraunhofer IKTS</b> ).....	26
Zugversuche an Keramik-Stahl-Verbänden nach Ofenlöten ( <b>TU Dortmund</b> ) .....	28
Dokumentation und Berichterstattung / Arbeitspaket 5.....	33
Verwendung der Zuwendung.....	33
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	33
Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft .....	33

## Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

### Lot- und Prozessentwicklung / Arbeitspaket 1

In dem Verbundprojekt sind die Arbeiten zur Lot- und Prozessentwicklung auf die beiden Forschungseinrichtungen Fraunhofer IKTS und TU Dortmund aufgeteilt. Dabei werden die Lote am Fraunhofer IKTS entwickelt und charakterisiert. Das Benetzungsverhalten der Lote auf der Keramik im Luftofen wird an der TU Dortmund untersucht. Das Induktionslöten wird wiederum am Fraunhofer IKTS durchgeführt. Entsprechend sind die nachfolgenden Ergebnisse nach den Forschungseinrichtungen untergliedert. Ergebnisse, die in den beiden Zwischenberichten bereits dargestellt wurden, werden hier nicht wiederholt.

### Lötpartner und Bauteilgeometrie (beide Forschungseinrichtungen)

Tabelle 1 zeigt die bereitgestellten Materialien durch die jeweiligen Industriepartner für die Durchführung der Lötversuche.

Tabelle 1 Übersicht der Lote und Keramiken, die durch die Industriepartner zur Verfügung gestellt wurden:

Bereitgestelltes Material	Liefernder Industriepartner	Anzahl
Lotpaste MLAG4CuO	Innobraze	200 g
Lotpaste MLAG8CuO0.5Ti	Innobraze	200 g
Keramik 99,7% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Frialit)	Friatec	180 Stück
Keramik 97,6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (AL300)	Morgan (Haldenwanger)	110 Stück
Keramik 3YSZ	Doceram	155 Stück
Keramik Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Bach RC	30 Stück
Keramik ATZ/ZTA	Rauschert	108 Stück
Stahl X2CrNiMo17-12-2 (1.4404)	Beschaffung durch TU Dortmund	
Legierung Invar	Beschaffung durch TU Dortmund	
Stahl 1.4742	Beschaffung durch TU Dortmund	
Stahl 1.4760	Beschaffung durch Fraunhofer IKTS	
Stahl 1.4742	Beschaffung durch Fraunhofer IKTS	
Stahl 1.4841	Beschaffung durch Fraunhofer IKTS	
Stahl 2.4633	Beschaffung durch Fraunhofer IKTS	
Stahl 2.4851	Beschaffung durch Fraunhofer IKTS	
Stahl 2.4816	Beschaffung durch Fraunhofer IKTS	

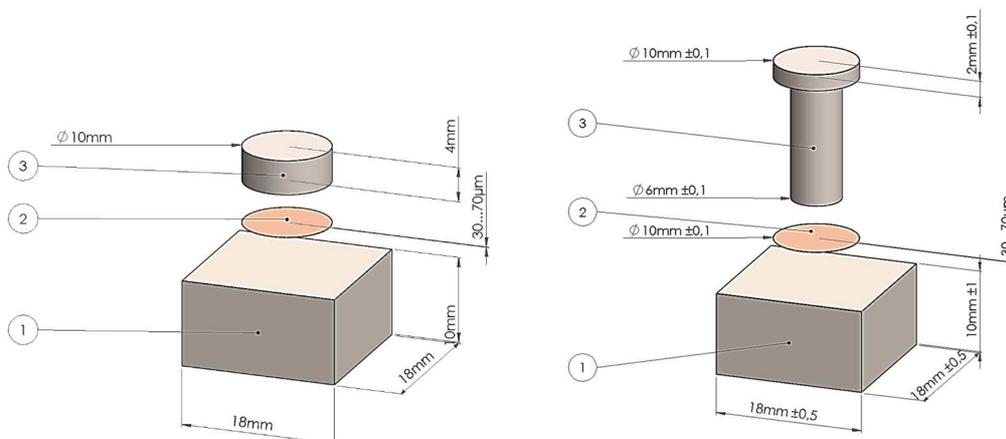


Abbildung 1 Probekörper für Ofen- und Induktionslötversuche. Links: Anordnung zur Charakterisierung der Lotspaltfüllung mittels Querschliff und Mikroskopie; Rechts: Prüfkörper für Zugversuche (1: Keramikkörper, 2: bedrucktes Lot, 3: Stahlkomponente).

In Abbildung 1 sind die mit dem Industriebeirat beschlossenen Probengeometrie für die Lötversuche dargestellt.

Die Eigenschaften der eingesetzten Stahlpartner sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

*Tabelle 2 Eigenschaften der verwendeten Stahlkomponenten:*

	<b>1.4760 Crofer 22 APU</b>	<b>1.4404 Acidur 4404</b>	<b>1.4841 Permodur 4841</b>	<b>2.4851 Nicrofer 6023H</b>	<b>2.4816 Inconel</b>	<b>2.4633 Nicrofer 6025H/HT</b>	<b>1.4742 THERMA X 4742</b>	
	X1CrTiLa2 2	X2CrNiMo 17-12-2	X15CrNiSi 25-21	NiCr23Fe 15Al	NiCr15Fe 8	NiCr25Fe AlY	X10CrAlSi 18	
Stahltyp	ferritisch	austeni- tisch	austeni- tisch	austeni- tisch	austeni- tisch	austeni- tisch	ferritisch	
TEC (20- 800 °C) /K	11,9 E-6	18 E-6	18 E-6	16 E-6	16 E-6	16 E-6	12,5 E-6	
Zusammensetzung	Fe	Rest	Rest	Rest	0-18,0	6,0-10,0	8,0-11,0	Rest
	Cr	20,0-24,0	16,5-18,5	24,0-26,0	21,0-25,0	14,0-17,0	24,0-26,0	17,0-19,0
	Ni		10,0-13,0	19,0-22,0	58,0-63,0	Rest	Rest	
	Mn	0,3-0,8	0-2,0	0-2,0	0-1,0	0-1,0	0-0,5	0-1,0
	Si	0-0,5	0-1,0	1,5-2,5	0-0,5	0-0,5	0-0,5	0,7-1,4
	Cu	0-0,5			0-0,5	0-0,3	0-0,1	
	Al	0-0,5			1,0-1,7		1,8-2,4	0,7-1,2
	Ti	0,03-0,2			0-0,5	0-0,3	0,1-0,2	
	Y						0,05-0,12	
	Zr						0,01-0,1	
	La	0,04-0,2						
	Mo		2,0-2,5					

## **Kommerzielle Lote und Lotentwicklung (Fraunhofer IKTS)**

Die kommerziellen und die am Fraunhofer IKTS entwickelten Lote (Tabelle 3) wurden hinsichtlich Schwindungsverhalten, Benetzung auf den Keramiken und Stählen sowie Spaltfüllung beim Löten untersucht. Die Ergebnisse wurden in den beiden Zwischenberichten ausführlich dargestellt. Deshalb richtet sich der Fokus dieses Berichtes auf die Darstellung der Ergebnisse für die beiden Verfahren Ofenlöten und Induktionslöten.

Tabelle 3 Übersicht zu Lotzusammensetzungen, die am Fraunhofer IKTS hergestellt wurden:

Lotname		Zusammensetzung (Mol%)						
		Ag	Ag-Rohstoff	CuO	Cu	Pd	SrO	Ti
Lot-002	Ag <sub>4</sub> CuO <sub>0.5</sub> Ti	95,5	Ag300-02	4				0,5
Lot-003/012	Ag <sub>4</sub> CuO <sub>5</sub> Pd <sub>0.5</sub> Ti	90,5	Ag300-02	4		5		0,5
Lot-004	Ag <sub>4</sub> CuO <sub>0.5</sub> SrO <sub>0.5</sub> Ti	95	Ag300-02	4			0,5	0,5
Lot-005	Ag <sub>8</sub> CuO <sub>0.5</sub> Ti	91,5	Ag300-02	8				0,5
Lot-006	Ag <sub>8</sub> CuO <sub>1</sub> SrO <sub>0.5</sub> Ti	90,5	Ag300-02	8			1	0,5
Lot-007	Ag <sub>2</sub> CuO <sub>0.5</sub> Ti	97,5	Ag300-02	2				0,5
Lot-008/011	Ag <sub>4</sub> Cu <sub>0.5</sub> Ti	95,5	Ag300-02		4			0,5
Lot-009	Ag <sub>4</sub> CuO <sub>0.5</sub> Ti	95,5	PvAg053	4				0,5
Lot-010	Ag <sub>4</sub> CuO <sub>0.5</sub> Ti	95,5	PvAg049	4				0,5
Lot-013	Ag <sub>0.5</sub> Ti	99,5	Ag300-02					0,5
Lot-014/015	AgPd <sub>4</sub> CuO <sub>0.5</sub> Ti	90,5	AgPd-Leg.	4		5		0,5