

Industrielösungen



Foliengießen

Inhalt

Foliengießen	1
Material- und Technologieentwicklung	2
Ausstattung	6
Foliensysteme	8

Titelbild: Doctor-Blade-Gießverfahren zur kostengünstigen Herstellung großer, flexibler Folien.

Foliengießen

Die Technik des Foliengießens und Beschichtens ist eine hoch produktive Methode, die die Herstellung großer, flexibler Folien aus Funktionswerkstoffen sehr effizient und kostengünstig in Rolle-zu-Rolle-Prozessen erlaubt. Das Fraunhofer IKTS verfügt im Bereich keramischer und glaskeramischer Folien über mehr als 70 Jahre Erfahrung.

Das spezielle Know-how des Fraunhofer IKTS betrifft die Schlicker- und Prozessentwicklung für die Herstellung von Folien sowie deren Überführung in Vor- und Kleinserienprodukte. Die Folientechnik bildet die Grundlage für viele innovative Produkte und Entwicklungen. Diese reichen von der klassischen keramischen Mikrosystemtechnik über die Batterieforschung bis zur Filtration und Gasseparation. Darüber hinaus gibt es verschiedenste Spezialanwendungen wie transparente Folien für optische und analytische Anwendungen, Fügefolien zur Herstellung rein keramischer Verbunde sowie Metallpulverfolien für magnetische und elektrokatalytische Anwendungen.



Slot-Die-Coater im Foliengießzentrum am Standort Hermsdorf.

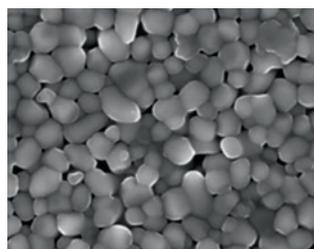
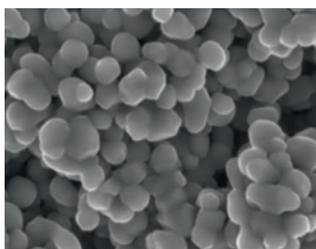
Die Verarbeitung funktionskeramischer Pulver mittels Foliengießen stellt eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Im hochmodernen Foliengießzentrum des Fraunhofer IKTS werden Folien mit verschiedensten Eigenschaften (LTCC, HTCC, definiert porös, UV-härtend, transparent, permanentmagnetisch) nach Kundenwunsch hergestellt. Auf den Gieß- und Beschichtungsanlagen ist die Entwicklung und Musterfertigung von Folien in Dicken von 50 µm bis 1,5 mm möglich. Zudem stehen die Anlagen des IKTS auch für Unternehmen zur Durchführung von eigenen Testversuchen zur Verfügung.

Mit innovativen Druckverfahren und Interconnection- und Packaging-Lösungen können Folien funktionalisiert und in Komponenten und Bauteile für verschiedenste Anwendungen überführt werden. Hierfür bestehen umfangreiche Erfahrungen in der Entwicklung spezifisch angepasster Dickschichtpasten und Tinten und deren Verarbeitung im Multilayerprozess.

Material- und Technologieentwicklung

Überblick

Der Foliengießprozess beginnt mit der Aufbereitung des Pulvers. Dieses wird mit Hilfe eines Dispergators in Lösemittel verteilt und unter Zugabe von Binder und Weichmacher homogenisiert. Nach dem Filtrieren und Entlüften des Schlickers erfolgt der Gießprozess. Hierbei wird der Schlicker mittels eines Rakels oder einer Schlitzdüse auf eine sich bewegende Gießunterlage gegossen. Nach der Trocknung wird die sogenannte Grünfolie konfektioniert, entbindert und gesintert.



Glaspulver vor und nach der Dispergierung.

Pulveraufbereitung

Die Entwicklung eines gießfähigen Schlickers beginnt mit der Aufbereitung maßgeschneiderter Pulver. Die Morphologie sowie die Korngrößenverteilung der Pulver haben dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Gießschlickers. Im Wesentlichen können zwei Routen verfolgt werden: Kommerzielle oder kundenspezifische Pulver werden über mechanische Aufbereitungsprozesse auf die gewünschten Korngrößen gemahlen oder Morphologie und Korngröße werden über entsprechende Syntheseprozesse bereits während der Pulverherstellung eingestellt.

Begleitende Analytik

- Partikelgrößenverteilung
- Laserbeugung, Sedimentationsanalyse
- Oberflächencharakterisierung, BET
- Morphologie
- Lichtmikroskopie, Elektronenmikroskopie
- Rohdichte und Reindichte

Dispergierung

Bei der Dispergierung wird das aufbereitete Pulver in einem Lösemittel unter Zugabe eines Dispergators fein verteilt. Die Wahl des Dispergators ist dabei von der Oberflächenchemie des zu verarbeitenden Pulvers sowie den gewählten Lösemitteln abhängig. Sehr feine Pulver besitzen eine hohe spezifische Oberfläche, woraus ein großes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen und damit eine hohe Oberflächenenergie resultiert. Da dieses Verhältnis energetisch ungünstig ist, lagern sich die Pulverpartikel zu Agglomeraten zusammen. Um die Pulverpartikel zu separieren und vollständig zu benetzen, werden in der keramischen Foliengießtechnik häufig nichtschäumende Tenside sowie sterisch wirkende (kurzkettige) Polymere eingesetzt, die aufgrund ihrer Moleküleigenschaften als Dispergatoren fungieren können. Weiterhin ist es wichtig, dass es nicht zu Sedimentationen im Schlicker kommt, um Dichtegradienten in der Folie zu vermeiden.

Begleitende Analytik

- Viskositätsmessungen
- Zetapotentialmessung
- Rasterelektronenmikroskopie



Dosierung des Schlickers in den Gießkasten.

Homogenisierung

Für die Homogenisierung werden der Dispergierlösung Binder und Weichmacher zugesetzt. Anschließend erfolgt eine langsame Bewegung des Schlickers. Die Wahl des Binders und Weichmachers hängt von den unterschiedlichsten Faktoren wie Pulvermorphologie, Lösemittelsystem, Prozessierung und Wärmebehandlung der Grünfolie ab. Nach der Homogenisierung wird der Schlicker in mehreren Stufen filtriert und entlüftet. Zunächst werden mit einem groben Sieb die Mahlkörper aus dem Schlicker entfernt. In einem zweiten Schritt erfolgt die Abtrennung von ungelösten Bestandteilen bzw. verbliebenen Agglomeraten. Die abschließende Entlüftung des Schlickers hat einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Folie.

Da Luftblasen während des Trocknungsprozesses platzen und an die Folienoberfläche aufsteigen, entstehen kleine Löcher oder Unebenheiten in der Grünfolie. Nur wenn der Schlicker frei von Luftblasen ist, können fehlerfreie Folien gegossen werden.

Begleitende Analytik

- Viskositätsmessungen
- Schlickerauslaufzeit
- Grindometer

Foliensysteme

Lösemittel	Binder	Feststoff/ Schlicker	Grünfolie
- Aceton	- PVB	- Mittlerer Korn-	- Feststoff-
- MEK	- PVA	- größenbereich	- gehalte bis
- MEK/Ethanol	- PVDF	von d_{50} 200 nm	91 Ma.-%
- MEK/Toluol	- Alginat	bis 30 μm	- Foliendicken
- Cyclohexanon	- Acrylate	- Dichten bis	10 bis
- MIBK/	- Cellulosen	19,3 g/cm ³	2000 μm
Methanol	- UV-härtende	- Viskositäten	- Größere
- N-Methyl-	Binder	von 100 bis	Dicken über
2-pyrrolidon	- Epoxidharze	30.000 mPas	Lamination
- Wasser			

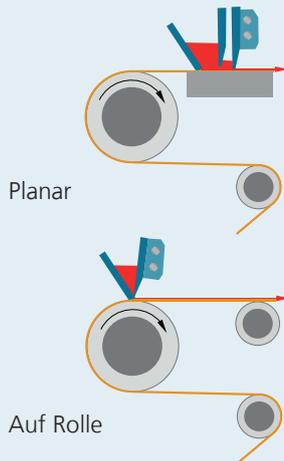
Folien

Folien für poröse Supporte	- Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2
Magnetpulverfolien	- Absorber-Ferritfolien
	- NdFeB-Folien
Transparente Folien	- MgO , MgAl_2O_4
LTCC	- Basistapes
	- Anodisch zu Silicium bondbare Tapes
	- SiCer-fähige Tapes
	- Funktionelle LTCCs
HTCC	- Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 , AlN
Funktionelle Folien	- Metall
	- Piezokeramik
	- Glaslot
	- Elektroden für Li-Batterien
	- Perowskit



Technologieentwicklung für Mehrfachbeschichtung mittels Triple-Slot-Die-Coating.

Doctor-Blade-Verfahren

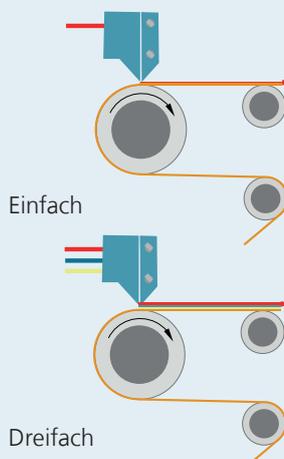


- Geringe bis hohe Foliendicken
- Hohe Genauigkeit (homogene Dicke)

Planar

Auf Rolle

Slot-Die-Verfahren



- Hochviskose Schlicker
- Geringe bis hohe Beschichtungsgeschwindigkeiten
- Intermittierende Beschichtungen
- Mehrlagige Beschichtung
- Gradierte Folien
- Texturierungen

Einfach

Dreifach

Foliengießen

Das Foliengießzentrum des Fraunhofer IKTS in Hermsdorf verfügt über mehrere Gießanlagen, die nach dem klassischen Doctor-Blade-Verfahren arbeiten und sich hinsichtlich Anlagenlänge, Gießgeschwindigkeit sowie Trocknungsprinzip (Konvektion, Kontakt, UV) unterscheiden.

Darüber hinaus stehen zwei Anlagen zur Verfügung, die das Portfolio des IKTS um die Technologie der Schlitzdüsenbeschichtung erweitern. Dabei wird der Schlicker in eine Schlitzdüse gepumpt und berührungslos auf die sich bewegende Gießunterlage aufgebracht. Mit dem sogenannten VALIBAT-Coater werden Folien im Bereich der Batterieforschung realisiert. Zudem wird ein modulares und ökologisches Foliengießkonzept verfolgt. Nach dem Schichtauftrag mittels Schlitzdüse wird die gegossene Elektrodenfolie durch eine Schwebetrocknung berührungslos getrocknet und anschließend bei Bedarf in einem integrierten Kalandernachverdichtet.

Die im Foliengießschlicker enthaltenen Lösemittel werden danach mittels thermischer Nachverbrennung entfernt und die dabei entstehende Energie in die Anlage zur Trocknung der Schichten zurückgeführt. Mit dem Triple-Slot-Die-Coater ist es möglich, Mehrfachschichten in einem Prozessschritt herzustellen. Durch die Dreifachschlitzdüse können unterschiedlich funktionelle oder funktionell gradierte Folien direkt »nass in nass« gegossen werden. Beide Schlitzdüsenanlagen sind problemlos auf das klassische Doctor-Blade-Verfahren umrüstbar,

Begleitende Analytik

- Grünfoliencharakterisierung
- Folienhöhe
- Gründichte
- Hg-Porosimetrie
- Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie

wobei der Schlicker beim Triple-Slot-Die-Coater direkt auf ein Stahlband aufgetragen werden kann.

Des Weiteren verfügt das IKTS über eine kombinierte Methode aus optischen und Wirbelstromverfahren zum Monitoring des Foliengießprozesses. Damit lassen sich Nassschichtdicke, Trockenschichtdicke, Dichteunterschiede und optische Fehler zuverlässig inline messen.

Funktionalisierung

Innovative Druckverfahren sowie Aufbau- und Verbindungstechniken sind essentiell für die Weiterverarbeitung von Folien zu Bauteilen, Komponenten und Systemen. Sie bestimmen im starken Maße die Leistungs- und Belastungsfähigkeit eines Bauteils.

Die Funktionalisierung von keramischen Folien erfolgt zum einen über klassische Siebdruck- und Schablonendruckverfahren. Zum anderen werden digitale Drucktechnologien wie Inkjet- oder Aerosol-Jet-Printing eingesetzt. Am Fraunhofer IKTS bestehen langjährige Erfahrungen in der Entwicklung kundenspezifischer funktioneller Pasten und Tinten für die Dickschichttechnik. Damit ist es möglich, Folien mit unterschiedlichsten Materialien wie Edelmetallen, Gläsern oder funktionellen keramischen Materialien zu bedrucken.

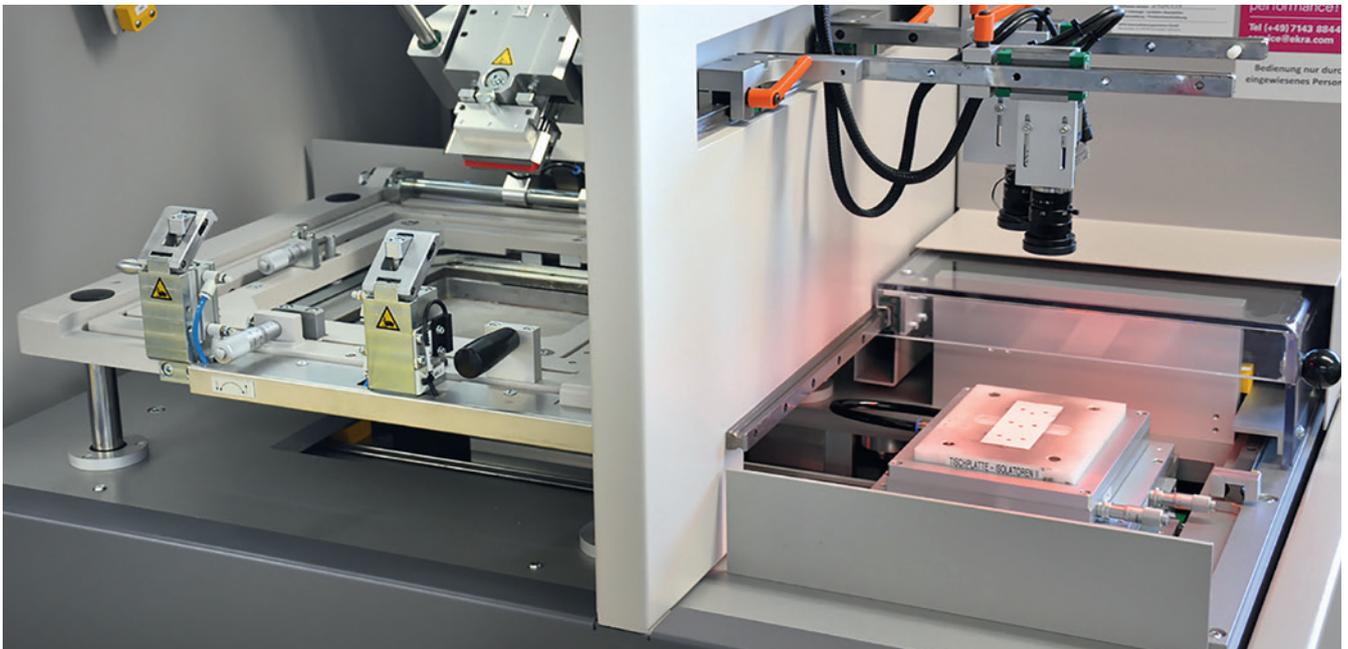
Für das Fügen mehrerer Komponenten sowie die elektrische Anschlusskontaktierung verfügt das IKTS über verschiedene Technologien wie Löten, Kleben oder Drahtbonden auf Basis polymerer sowie glasgebundener Dickschichtpasten.

Anwendungsbeispiele

- Sensorgehäuse
- Gehäuse für Referenzelektroden mit entsprechendem Diaphragma
- Keramische Hohlfasermodule
- Innenmetallisierung von elektrokeramischen Wabenkörpern
- Gedruckte Heizerstrukturen
- Keramische Komponenten für Ozonisatoren
- Keramische Grundkomponenten für temperaturstabile Drucksensoren

Begleitende Analytik

- Schichtdickenmessung
- Haftverhalten
- Thermische Charakterisierung
- Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie
- Funktionelle Charakterisierung der Schicht



Funktionalisierung von keramischen Folien mit Dickschichtverfahren.

Ausstattung

Foliengießen

Parameter	Laboranlage KMS	Gießanlage KWH	Gießanlage KWH/UV	Tape-Caster KEKO	VALIBAT- Coater	Triple-Slot-Die- Coater
Schichtauftrag	- Doctor-Blade auf Rolle	- Doctor-Blade	- Doctor-Blade	- Doctor-Blade	- Doctor-Blade - Slot-Die	- Doctor-Blade - Slot-Die - Triple-Slot-Die
Beschichtungstechnologie	- Einfach	- Einfach - Grün/nass	- Einfach - Grün/nass	- Einfach	- Einfach - Intermittierend - Zweiseitig	- Einfach - Dreifach »nass in nass« - Intermittierend
Trocknung	- Passiv RT - IR-Trocknung	- Passiv RT	- UV-Härtung	- Kontakt - Konvektion	- Schwebetrock- nung - Konvektion	- Kontakt - Konvektion
Anlagenlänge (m)	7,5	14,2	14,2	12,1	13,6	13,8
Trockenkanal (m)	6,0	12,8	12,8	10,0	6,25	11,6
Trockenschichtdicke (µm)	20–500	30–2000	10–1000	10–500	10–500	10–500
Gießgeschwindigkeit (m/min)	0,1–10	0,1–10	0,1–10	0,1–3	1–4	0,25–1
Dosierung	- Gravitation - Druck	- Gravitation - Druck	- Gravitation - Druck	- Gravitation - Druck	- Druck	- Druck
Gießunterlage	- Mylar - Metall (Al, Cu)	- Mylar - Metall - Papier	- Mylar - Metall	- Mylar - Metall - Papier	- Mylar - Metall	- Mylar - Stahl



Doctor-Blade-Technikum am Fraunhofer IKTS in Hermsdorf.



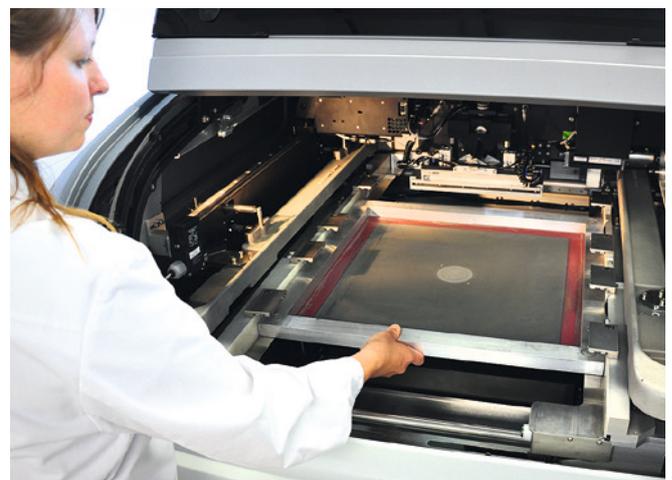
Slot-Die-Technikum.

Siebdruck

Tampondrucker Teca-Print 70	Siebdrucker EKRA-M2 (I)	Siebdrucker EKRA-M2 (II)	Siebdrucker EKRA- Microelectronic 2H	Siebdrucker DEK Typ 03iX
Standardklischeelänge max. 100 mm	Druckformat (x/y) max. 180 x 160 mm ²	Druckformat (x/y) max. 180 x 160 mm ²	Druckformat (x/y) max. 180 x 160 mm ²	Druckformat (x/y) max. 738 x 738 mm ²
Umrüstung auf Stempeldruck	Druckgutstärke max. 30 mm	Druckgutstärke max. 30 mm	Druckgutstärke max. 30 mm	Druckgutstärke max. 40 mm
Taktzahl max. 300 Takte pro Stunde	Siebrahmen 203 x 152 mm ² bis 305 x 305 mm ²	Siebrahmen 203 x 152 mm ² bis 305 x 305 mm ²	Siebrahmen 203 x 152 mm ² bis 305 x 305 mm ²	Siebrahmen 40 x 50 mm ² bis 510 x 508 mm ²
Druckkraft bei zentrischer Belastung 250 N	Ausrichtgenauigkeit ± 10 µm	Ausrichtgenauigkeit ± 10 µm	Ausrichtgenauigkeit ± 10 µm	Wiederholungs- genauigkeit ± 12,5 µm
Antrieb pneumatisch	Rakelgeschwindigkeit 10–200 mm/s	Rakelgeschwindigkeit 10–200 mm/s	Rakelgeschwindigkeit 10–200 mm/s	Splitoptik zur automa- tischen Schablonen-/ Siebauseichtung
Anschlusswerte 230 V/50 Hz	Rakeldruck 10–200 N	Rakeldruck 10–200 N	Rakeldruck 10–200 N	Feuchte- und Temperaturmessung im Druckerinnenraum
Druckluft 4-5 bar	Absprung ≤ 5 mm	Absprung ≤ 5 mm	Absprung ≤ 5 mm	Drucken mit Pro-Flow-Rakel
Luftverbrauch pro Takt bei 5 bar: 0,25 Liter	Tischverstellung (x/y) ± 8 mm Drehachse ± 3°	Tischverstellung (x/y) ± 8 mm Drehachse ± 3° Manuelles optisches Positioniersystem	Tischverstellung (x/y) ± 8 mm Drehachse ± 3° Automatisches optisches Positioniersystem	



Siebdrucker EKRA-M2H zur Folien-Funktionalisierung.



Siebdrucker DEK Typ 03iX für große Druckformate.

Foliensysteme



LTCC-Grünfolie für die Verbindung mit Silicium.

LTCC-Folien nach Heraeus-Rezeptur

Im Foliengießzentrum des Fraunhofer IKTS werden Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC)-Folien für die Serien Heratape®CT 700 und Heratape®CT 800 der Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG für Kundenprojekte gegossen. Damit stehen diese in gewohnter Qualität für Anwender zur Verfügung.

Parameter	IKTS-CT				
	702	708	765	800	810
Material	Pb-freies LTCC-Tape für freies Sintern	Pb-freies LTCC-Tape, Low-loss-Tape auch als Basistape für CT765 geeignet	High K(~65)-Tape	Pb-freies LTCC-Tape, geeignet für Opferlagen-Sinterprozess	Pb-freies LTCC-Tape, geeignet für Isolation auf Stahl
Max. Gießbreite (mm)	300	300	180	300	180
Max. Foliendicke (µm)	180	180	180	180	180
Sintertemperatur (°C)	870	870	870	870	870
Sinterdichte (g/cm³) (theoretisch > 96 %)	3,2	3,0	5,5	3,3	3,3
Thermischer Ausdehnungskoeffizient (ppm/K)	7,3 (25–300 °C)	7,6 (25–300 °C) 9,3 (25–800 °C)	9,1 (25–300 °C) 10,5 (25–600 °C)	5,1 (20–300 °C) 6,4 (20–Tg °C)	--
Thermische Leitfähigkeit (W/mK)	4,3	4,3	--	4,3	4,3
Dielektrische Konstante (bei 25 °C)	7,5–7,9 (1 kHz)	6,4±0,1 (2,5 GHz)	65,0±4,0 (1,0 GHz) 96,7±0,1 (2,5 GHz)	7,5±0,1 (2,5 GHz) 5,3±0,1 (20,0 GHz) 5,2±0,1 (100,0 GHz)	8,7±0,1 (2,5 GHz)
Dielektrischer Verlustfaktor tan δ (bei 25 °C)	3 x 10 ⁻³ (1 kHz)	0,3 (2,5 GHz)	< 0,2 (1,0 GHz) < 0,2 (2,5 GHz)	< 0,2 (2,5 GHz) < 0,8 (20,0 GHz) < 0,2 (100,0 GHz)	< 0,005 (2,5 GHz)

Die Messungen wurden an gesinterten Folien bzw. Laminaten durchgeführt.
 Detaillierte Angaben über das Entbinderungs- und Sinterprofil sowie Sinteraggregate werden auf Anfrage bereitgestellt.
 Für Tapes kompatible Pasten können empfohlen werden.



Herstellung von LTCC-Folien nach Heraeus-Rezeptur.

LTCC-Folien für zuverlässige MEMS-Integration

Silicium und LTCC-Keramiken werden erfolgreich in der Mikrosensorik und Mikrosystemtechnik eingesetzt. Durch die Integration beider Materialien in Gesamtsysteme können Mikrosysteme mit einer deutlich höheren Komplexität und größeren Anwendungsbereichen geschaffen werden. Die in der Mikrotechnik genutzten Verfahren wie Fotolithografie, Mikrostrukturierung, Dickschicht- und Dünnschichttechnik sowie Aufbau- und Verbindungstechnik lassen sich auf beide Materialien vorteilhaft anwenden, so dass effiziente Fertigungsmöglichkeiten von Mikrosystemen in unterschiedlichen Stückzahlbereichen realisiert werden können.

BGK-Folie

Das Fraunhofer IKTS hat mit seinen BGK-Folien ein spezielles LTCC-Material entwickelt, das bezüglich des thermischen Ausdehnungskoeffizienten an Silicium angepasst und somit für das anodische Bonden mit Silicium geeignet ist. Hierbei wird der final prozessierte und gesinterte Multilayer anodisch zu Silicium gebondet.

BCT-Folie

Für die patentierte SiCer-Technologie, bei der ein dünner Silicium-Wafer und eine LTCC-Keramik bei 900 °C hilfsstofffrei mechanisch und elektrisch miteinander verbunden werden, hat das Fraunhofer IKTS mit seiner BCT-Folie ein besonderes LTCC-Material entwickelt. Beim Sintern der BCT-Folien auf dem Siliciumwafer kann eine laterale Schrumpfung komplett unterbunden und somit eine hohe Passgenauigkeit zwischen Keramik und Silicium erreicht werden. Damit lassen sich Strukturen und Bauelemente weiter miniaturisieren.

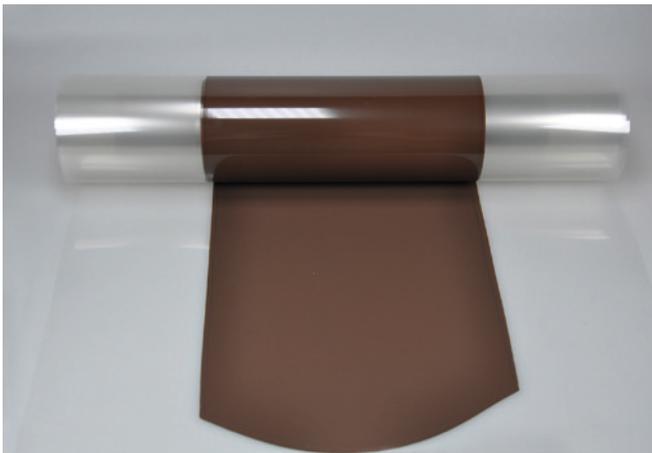
Parameter	BGK-Folie	BCT-Folie
Charakteristik	Anodisch bondbar zu Silicium	SiCer-fähig
Foliendicke (µm) (Grünfolien)	50, 120, 180	120, 180
Schwindung, 6-fach-Laminat (x, y) (%)	16–17,5	18,7–19,2
Druck beim Laminieren (MPa)	20–25 (70–80 °C)	20–25 (70–80 °C)
Dielektrische Konstante ϵ_r	5,35 (1 GHz)	8,29 (1 kHz) 5,42 (1 GHz)
Spez. Durchgangswiderstand (Ω)	$20,8 \times 10^{12}$	$7,1 \times 10^{15}$
Spez. Oberflächenwiderstand (Ω)	127×10^{12}	411×10^{12}
Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta^1$	0,02 (25 °C, 1 kHz) 0,07 (25 °C, 1 MHz)	0,0014 (25 °C, 1 kHz) 0,0012 (25 °C, 1 MHz) 0,00196 (25 °C, 1 GHz)
Durchschlagsfestigkeit (kV/mm)	27,03	28,90
Thermischer Ausdehnungskoeffizient (ppm/K)	$3,4 \pm 0,2$ (25–400 °C)	$3,4 \pm 0,2$ (25–400 °C)

Die Messungen wurden an gesinterten Folien bzw. Laminaten durchgeführt. Für alle Folien können entsprechende Metallisierungspasten empfohlen werden.

¹VDE 0303 Part 4: 1969-12

²DIN IEC 60093

³DIN EN 60243-1



Funktionelle Ferrit-Folie.



Poröse Membranen.

Funktionelle LTCC-TAPES

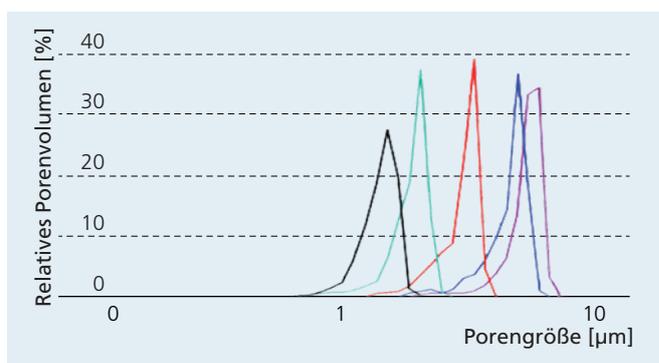
Derzeit entsteht ein zunehmender Bedarf, die Miniaturisierung und Funktionalisierung elektronischer Schaltkreise vom Chip-Level auf die nächst höhere Integrationsebene zu übertragen. Die keramische LTCC-Technologie stellt ein Packaging-Konzept dar, mit dem elektronische Baugruppen hoher Integrationsdichte, mikrofluidische Systeme oder modulare elektrochemische Zellen aufgebaut werden können. Kernstück sind keramische LTCC-Folien, die im Grünzustand mit Dickschichtpasten metallisiert, gestapelt und laminiert werden. Diese komplexen Mehrlagenaufbauten werden bei etwa 900 °C einem finalen Co-Sinterprozess unterzogen, wobei ein keramischer Monolith entsteht. Am IKTS entwickelte LTCC-Folien finden Einsatz in Vor- und Kleinserienprodukten.

Parameter	Wert
NiCuZn-Ferritfolien	
Grünfoliendicke μm	120
Sintertemperatur $^{\circ}\text{C}$	850–900
Permeabilität μ_r	200–800
MgCuZn-Ferritfolien	
Grünfoliendicke μm	120
Sintertemperatur $^{\circ}\text{C}$	850–900
Permeabilität μ_r	300
HDK(BaTiO₃)-Folien	
Grünfoliendicke μm	5,35
Sintertemperatur $^{\circ}\text{C}$	850-900
Permittivität ϵ	> 2000
Dielektrischer Verlust $\tan \delta$	< 25×10^{-3}
Einsatztemperatur $^{\circ}\text{C}$	-55–125
Temperaturcharakteristik	X7R

Poröse Support-Folien

Keramische Folien auf Basis von Al_2O_3 -, ZrO_2 - und TiO_2 -Materialien stellen die Grundlage für Substrate mit definierter Porosität dar. Anwendung finden diese als Supportmaterialien in der Filtrationstechnik und Gasseparation. Sie können für die Herstellung asymmetrisch aufgebauter Membranen mit einstellbaren Porendurchmessern zwischen $3 \mu\text{m}$ und $< 1 \text{ nm}$ verwendet werden. Ein Upscaling der Membranpräparation bis in den industriellen Maßstab ist möglich.

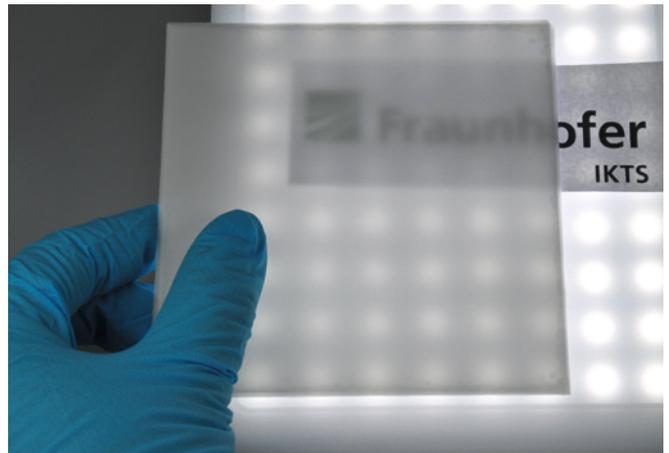
Material	Offene Porosität %	d_{50} μm	Gießbreite mm	Foliendicke μm
Al_2O_3	25	1,4		50–1000
	28	1,8		50–1000
	36	2,8	max. 300	50–1000
	42	4,0		50–1000
	43	5,0		50–800
ZrO_2	43	5,0	max. 300	50–1000
TiO_2	42	4,0	max. 300	50–800



Porengrößenverteilung für unterschiedliche Al_2O_3 -Supporte.



Verarbeitung von UV-härtenden Schlickersystemen.



Hoch transparente MgO-Folie, 8-fach-Laminat, unbearbeitet.

UV-härtende Folien

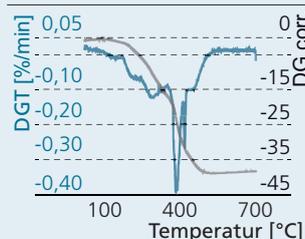
Aufgrund des anerkannten Gefährdungspotenzials von organischen Lösemitteln und Phthalaten als Weichmacher für Umwelt und Gesundheit und der zunehmend verschärften Gesetzgebung (ROHS/REACH) gibt es Bestrebungen, die eingesetzten Gießschlickersysteme durch lösungsmittelfreie Alternativen abzulösen. Ein großes Potenzial besitzen hierbei UV-härtende Schlickersysteme. Untersuchungen mit keramischen Modellsubstanzen haben gezeigt, dass UV-härtende Bindersysteme zur Substitution konventioneller, lösungsmittelbasierter Systeme applikationsabhängig geeignet sind.

Zusammensetzung

Keramische Materialien	Al_2O_3 , MgCuZn-Ferrit
UV-Binder	Darocur, Lucirin, Irgacure 500, 819
Fotoinitiator	Desmolux 2299, U100
Dispergator	Ethylendiaminderivat Phosphorsäureester
Organikausbrand	450 °C

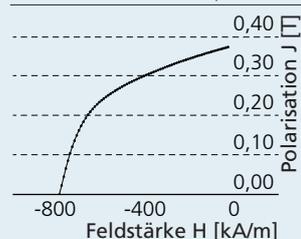
Al_2O_3

Härtbare Dicke ≤ 2 mm



NdFeB

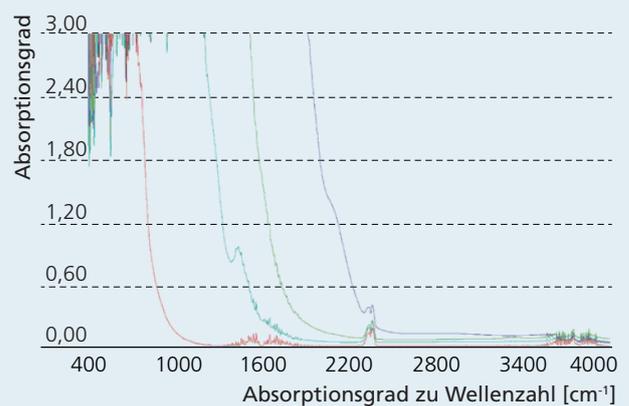
Härtbare Dicke ≤ 220 μm



Entbinderungsverhalten einer UV-gehärteten Al_2O_3 -Folie (links) und Magnetisierungskurve einer UV-gehärteten MQP-S-Folie (rechts).

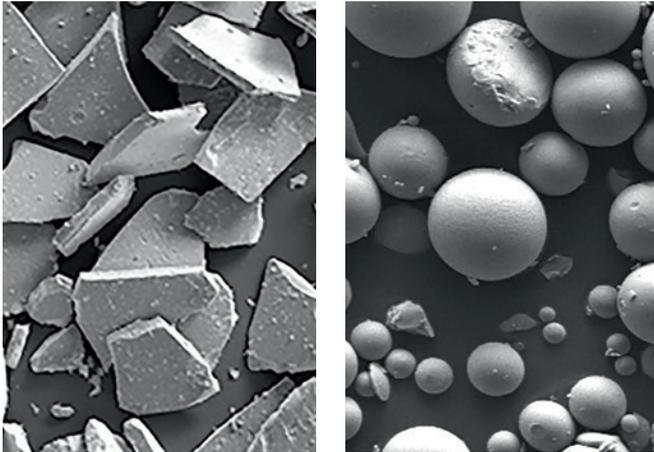
Transparente Folien

Transparente keramische Werkstoffe bieten mit den möglichen speziellen optischen Parametern in Kombination mit den typischen keramischen Eigenschaften wie hoher Härte, chemischer und thermischer Beständigkeit oder elektrischer Isolation interessante Alternativen zu bekannten optischen Gläsern oder Einkristallen. Transparente Folien finden Einsatz als Trägermaterialien für das sich gegenwärtig im Bereich der Biophotonik stark entwickelnde Analyseverfahren der Raman-Spektroskopie.



Glas (blau, transparent bis ca. 2400 cm^{-1}), Calciumfluorid (rot, transparent bis ca. 1000 cm^{-1}) und Spinell (hellgrün, 4 mm Dicke, transparent bis ca. 2000 cm^{-1} ; türkis, 0,6 mm Dicke, transparent bis ca. 1700 cm^{-1}); Wellenlänge 25-2,5 μm ; Spektralbereich 400 bis 4000 cm^{-1}

IR-Transmission im Vergleich.



REM-Aufnahme zweier NdFeB-Pulver, MQP-B (links) und MQP-S (rechts).

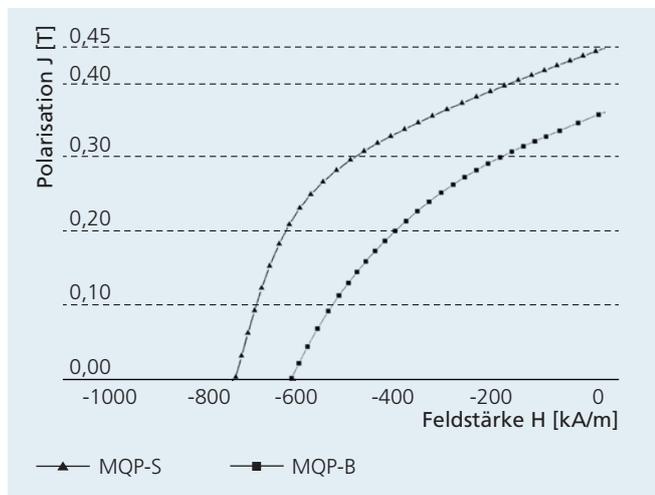


VaLiBat-Coater für die Herstellung von Batterieelektroden.

NdFeB-Folien

Für die Miniaturisierung von Aktuatoren für mikromechanische Systeme, die Mikrosystemtechnik oder magnetische Längen- und Winkelmessstechnik stellen permanentmagnetische Dickschichten aus hochremanentem NdFeB mit der hartmagnetischen Phase $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ eine interessante Lösung dar.

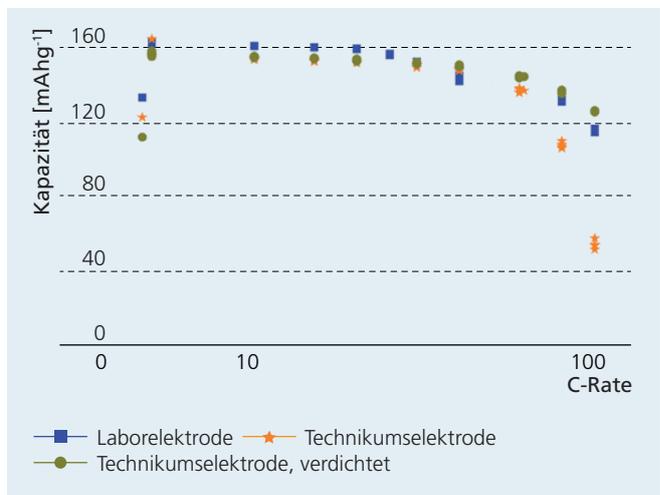
Hierfür werden kommerzielle NdFeB-Pulver als Ausgangsmaterial verwendet und unter Zugabe eines thermisch härtenden Bindersystems und Weichmachern zu Foliengießschlickern verarbeitet. Damit lassen sich Grünfolien mit einer Schichtdicke von 100–500 μm realisieren. Nach der thermischen Härtung weisen die Schichten – in Abhängigkeit vom verwendeten NdFeB – Remanenzen von bis zu 500 mT und eine Koerzitivfeldstärke von 600–800 kA/m auf. Die Schichten können im Anschluss mehrpolig magnetisiert werden.



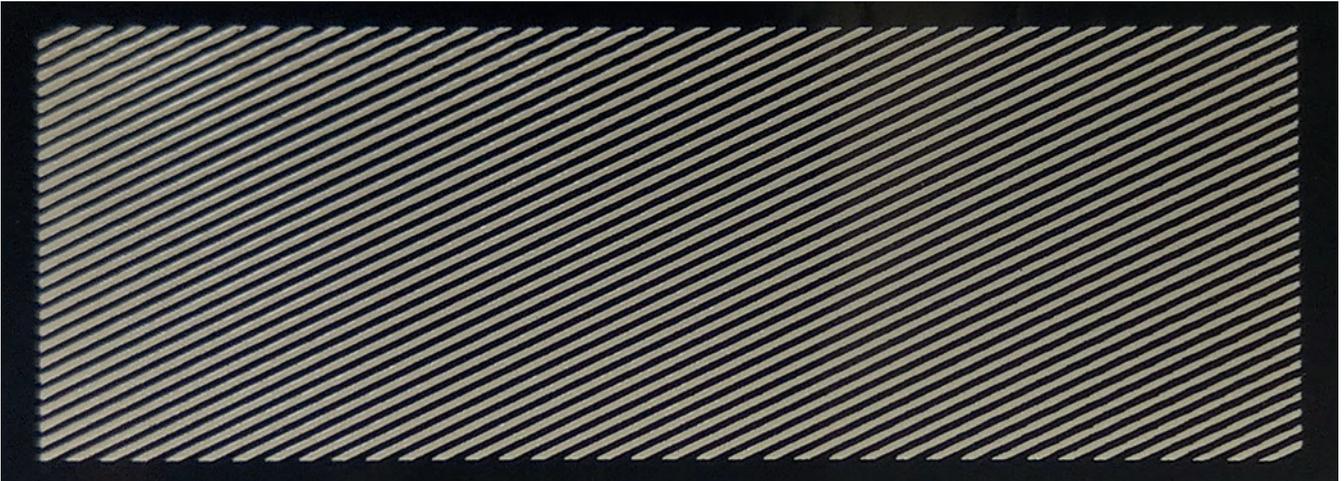
Entmagnetisierungskurven von NdFeB-Dickschichten.

Folien für Batterien

Leistungsfähige Li-Ionen-Batterien erfordern kosten- und energieeffiziente Fertigungsverfahren für die Batterieelektroden. Foliengießtechnologien haben hierbei ein enormes Potenzial. Das IKTS verfügt über Erfahrungen zur Beschichtung von Metallfolien mit Aktivschichten mittels Doctor-Blade-Verfahren und Schlitzdüsenbeschichtung. Die Kernkompetenz liegt in der Herstellung von Schlickern aus Aktivpulvern mit reproduzierbaren Fließeigenschaften. Darüber hinaus sind auch Entwicklungen im Anlagenbereich essentiell. Mit modernen Foliengießanlagen ist es möglich, Aktivmaterialien auf metallische Trägerfolien aufzubringen und gleichzeitig zu trocknen sowie große Flächen kontinuierlich zu beschichten (Bandbeschichtung). Der Fokus der Entwicklungs- und Dienstleistungen liegt auf Versuchen zur Material- und Technologieoptimierung (z. B. Stromabnehmermaterialien, Gieß- und Trocknungsparameter) sowie der Erarbeitung von Upscaling-Prozessen.



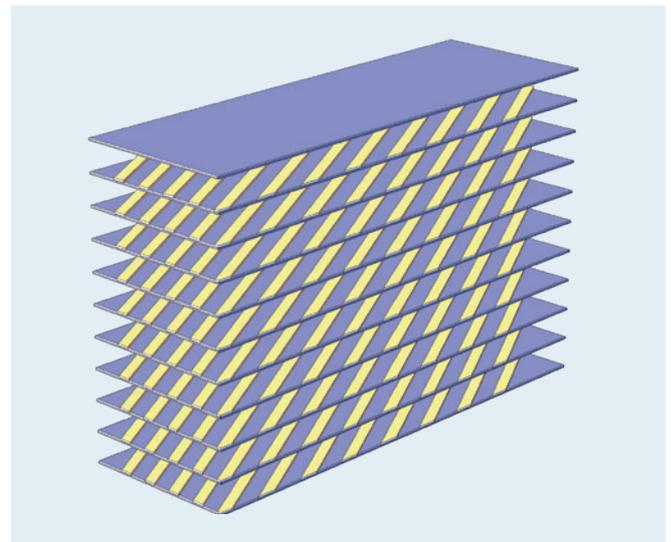
Kapazität vs. C-Rate verschiedener Batteriefolien (in Kooperation mit Zentrum für Brennstoffzellen Technik GmbH).



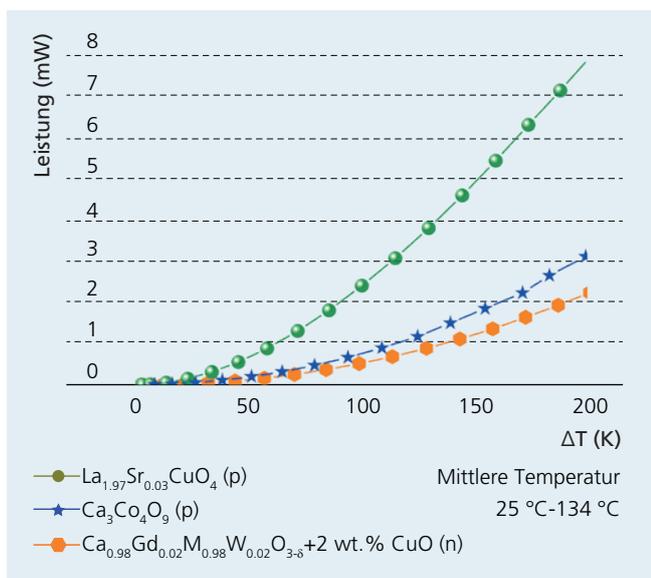
Grünfolie mit gedruckter Metallisierung für den Aufbau von transversalen mehrschichtigen thermoelektrischen Generatoren.

Folien für transversale thermoelektrische Generatoren

Die keramische Multilayer-Technologie ist eine interessante Option, um transversale thermoelektrische Generatoren zu miniaturisieren und in Serie zu fertigen. Dafür werden $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ -, La_2CuO_4 - und CaMnO_3 -Pulver zu Grünfolien verarbeitet und über Siebdruck metallisiert. Die Metallschichten werden dabei in einem bestimmten Winkel zur Wärmestromrichtung gedruckt, um anisotrope thermoelektrische Eigenschaften zu erzeugen. Die transversalen mehrschichtigen thermoelektrischen Generatoren (TMLTEG) eignen sich für den Einsatz in autonomen Sensorsystemen mit einem geringen Stromverbrauch.



Struktur eines transversalen TEG-Stacks (Quelle: EAH Jena).



Leistung vs. Temperaturdifferenz für verschiedene transversale TEGs mit Ag/Pd-Metallisierung (Quelle: EAH Jena).

Kurzporträt des Fraunhofer IKTS

Seit mehr als 30 Jahren demonstriert das Fraunhofer IKTS das Potenzial keramischer Werkstoffe in einer stetig wachsenden Breite von Anwendungsgebieten. Aus den Bedarfen von neun markt-orientierten Geschäftsfeldern leiten sich unsere Entwicklungsarbeiten ab – ergänzt durch eine strategische Vorlauforschung auf höchstem wissenschaftlichen Niveau. Als Forschungs- und Technologiedienstleister entwickeln wir moderne keramische Hochleistungswerkstoffe, industrie-relevante Herstellungsverfahren sowie prototypische Bauteile und Systeme in vollständigen Fertigungslinien bis in den Pilotmaßstab.

Darüber hinaus umfasst das Forschungsportfolio Kompetenzen zur Werkstoffdiagnose und -prüfung. Die Prüfverfahren aus den Bereichen Akustik, Elektromagnetik, Optik und Mikroskopie tragen maßgeblich zur Qualitätssicherung von Produkten und Anlagen bei. Unser Antrieb ist es, ganzheitliche Systemlösungen und Dienstleistungen zu entwickeln, aber auch spezifische Herausforderungen innerhalb der Prozesse unserer Partner aus Industrie und Wissenschaft zu lösen. Durch unsere Expertise in der Charakterisierung und Analyse von Werkstoffen, Bauteilen und Systemen entlang ihres Lebenszyklus verfügen wir über einen einzigartigen Datenpool, um Neuentwicklungen effizienter und schneller durchführen zu können.

Das alles qualifiziert das Fraunhofer IKTS als Anlaufpunkt für Unternehmen und Forschungs-partner, um keramische Werkstoffe und zerstörungsfreie Prüfverfahren für neue Branchen, Produktideen und Märkte zu erschließen.

Kontakt

Industrielösungen Foliengießen

Dipl.-Chem. Beate Capraro
Telefon +49 36601 9301-1022
beate.capraro@ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS
Michael-Faraday-Str. 1
07629 Hermsdorf

Dr.-Ing. Uwe Partsch
Telefon +49 351 2553-7696
uwe.partsch@ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS
Winterbergstr. 28
01277 Dresden

