

#### 4. Wissenschaftliches Symposium, 26.-27.03.2013, Nürnberg

## Leichtbau durch Funktionsintegration



Aktuelle Entwicklungstendenzen wie Ressourcenverknappung und Klimawandel stellen die Produktionstechnik insbesondere in der Automobil-, Schienenfahrzeug- und Flugzeugindustrie vor ganz neue Herausforderungen. Die gebotene Ressourceneffizienz erfordert innovative Produkte mit einem minimalen Ressourcen- und Energieverbrauch während des gesamten Lebenszyklus. Eine Möglichkeit ist die Einsparung von Masse durch Leichtbau. Um bisherige oder bessere Eigenschaftsstandards zu erreichen, ist die Integration aktiver Funktionen in Strukturbauteile oftmals unumgänglich.

Die breite technische Anwendung dieser innovativen Technologie erfordert serientaugliche Produktionstechnologien. Erforschung und Entwicklung der dafür notwendigen Grundlagen ist das Ziel des SFB/TR 39 „Großserienfähige Produktionstechnologien für leichtmetall- und faserverbundbasierte Komponenten mit integrierten Piezosensoren und -aktoren“ (PT-PIESA). Primäres Anliegen ist eine integrale Gestaltung der Prozesskette, welche die bisher getrennte technologische Entwicklung und Fertigung von Sensoren und Aktoren und Strukturbauteilen zusammenführt und die fertigungstechnisch aufwändige nachträgliche Applikation auf komplex geformte Bauteile vermeidet.

Das Wissenschaftliche Symposium des Sonderforschungsbereichs/Transregio (SFB/TR) 39 PT-PIESA, bereits zum vierten Mal veranstaltet, soll als offenes Forum zum Austausch zwischen den Wissenschaftlern des Transregios sowie anderer Forschungseinrichtungen und Fachleuten aus der Industrie beitragen. Dazu möchten wir Sie für den 26. und 27. März 2013 ganz herzlich nach Nürnberg einladen.

Prof. Reimund Neugebauer  
*Sprecher des SFB/TR 39*

Prof. Robert F. Singer  
*Stv. Sprecher des SFB/TR 39*

### In dieser Ausgabe

4. Wissenschaftliches Symposium	1
Standort Dresden - Im Überblick	2
Arbeitsgruppe Faserverbund	3
Arbeitsgruppe Piezokeramik und Charakterisierung	4
Vorstellung Projektbereich A	5
Aktuelles / Gleichstellung	11
Rückblick / Ausblick / Impressum	13

### Aktuelles

**26.-27.03.2013**

#### 4. Wissenschaftliches Symposium des SFB TR 39 PT-PIESA

Web: [www.pt-piesa.tu-chemnitz.de/symposium](http://www.pt-piesa.tu-chemnitz.de/symposium)  
Ort: Marmorsaal  
Nürnberger Akademie  
Gewerbemuseumsplatz 2  
90403 Nürnberg

## Standort Dresden - Im Überblick



TU Dresden, Beyer-Bau



Bürogebäude des ILK



Reinraumneubau des IHM



Barkhausenbau, Sitz des IFE



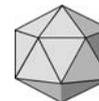
Fraunhofer IKTS

Am **Standort Dresden** sind die Technische Universität Dresden und das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme an den Forschungsarbeiten des PT-PIESA beteiligt.



Die **TU Dresden** hat ihre Wurzeln in der 1828 gegründeten Königlich Sächsischen Technischen Bildungsanstalt und ist heute eine der elf Exzellenzuniversitäten Deutschlands. Als Volluniversität mit breitem Fächerspektrum zählt sie zu den forschungsstärksten Hochschulen. Austausch und Kooperation zwischen den Wissenschaften, mit Wirtschaft und Gesellschaft sind dafür die Grundlage.

Folgende Einrichtungen der TU Dresden prägen die Forschungsarbeiten des PT-PIESA:



- Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK)
- Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik (IHM)
- Institut für Festkörperelektronik (IFE)
- Professur für Anorganisch-Nichtmetallische Werkstoffe am Institut für Werkstoffwissenschaft (ifWW)



Das **Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS** mit seinen beiden Standorten in Dresden und Hermsdorf deckt das Feld der Hochleistungskeramik von der grundlagenorientierten Vorlaufforschung bis zur Anwendung in seiner ganzen Breite ab.

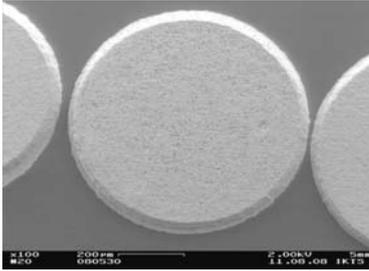
Das Leistungsangebot umfasst die anwendungsorientierte Entwicklung moderner keramischer Hochleistungswerkstoffe, industrierelevanter pulver-technologischer Herstellungsverfahren und prototypischer Bauteile. Im Zentrum stehen dabei Strukturkeramiken, Funktionskeramiken und Cermets für innovative Lösungen in vielen Branchen der Wirtschaft.

In der Abteilung Intelligente Materialien und Systeme wird in zwei Teilprojekten an Themen des PT-PIESA geforscht.

**26.07.2012** - Die Technische Universität Dresden wurde Exzellenz-Universität. Neben dem Zukunftskonzept „Die synergetische Universität“ wurden die beiden Exzellenzcluster „Center for Advancing Electronics Dresden“ (cfaED) und „Center for Regenerative Therapies Dresden“ (CRTD) sowie die Graduiertenschule „Dresden International Graduate School for Biomedicine and Bioengineering“ (DIGS-BB) bewilligt.

## Arbeitsgruppe Faserverbund - Vorgestellt

### Teilprojekt A1



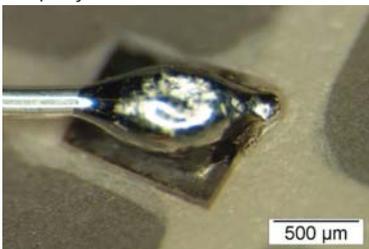
REM-Aufnahme eines Querschnitts von PZT-Fasern in Polymermatrix

### Teilprojekt A5



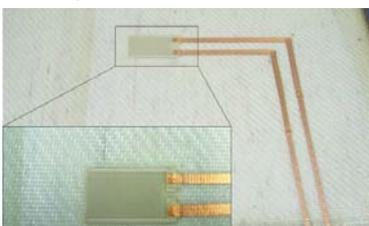
Thermoplastkompatibles Piezokeramikmodul (TPM)

### Teilprojekt A4



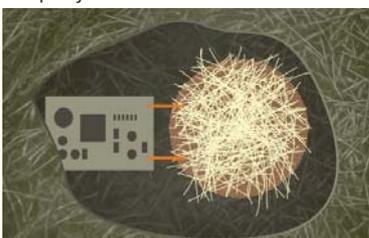
Laserslötstelle auf einem TPM

### Teilprojekt B4



Aktiver Glasfaser-Thermoplastverbund mit integriertem TPM

### Teilprojekt B6



Glasfaser-Polyurethanverbund mit integriertem Sensornetzwerk

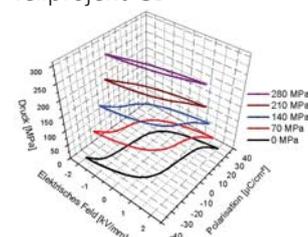
Forschungsschwerpunkt der **Prozesskette Faserkunststoffverbunde** ist die seriengerechte Herstellung aktiver Strukturbauteile in Faserverbundbauweise durch den Einsatz thermoplastverbundkompatibler Piezokeramik-Module (A5, B4) sowie durch die direkte stoffliche Integration piezokeramischer Komponenten in Polyurethanverbunde mittels neuartiger Multi-Faser-Sprüh-technologie (B6). Hierfür werden sowohl bisherige kommerziell verfügbare Moduldesigns stofflich auf ein thermoplastisches Materialsystem umgestellt als auch neuartige piezokeramikfaserbasierte Module und Moduldesigns mit anisotroper Strukturcharakteristik entwickelt (A1, A5). Neben der Frage der stofflichen Kompatibilität werden vor allem Fragen einer ganzheitlichen Gestaltung der Prozesskette untersucht. Dies schließt insbesondere auch Fragen einer bauteilhärenten Gestaltung von Leiterbahnen und Kontakten zur Energie- und Informationsübertragung mit ein (A4, A5, B4).



### Prozesskette Faserverbundtechnologien

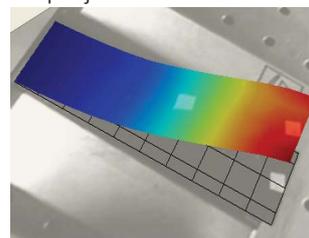
Der Nachweis der Bauteilfunktion und der durchgängigen werkstofflich homogenen Anbindung vom Modulhalbzeug an die Verbundstruktur erfolgt am Beispiel einer PT-PIESA-Basisstruktur (C5). Anhand der erarbeiteten Modelle zum Polarisationsverhalten piezokeramischer Werkstoffe unter Temperatur- und Druckeinfluss kann die Rückwirkung einer thermo-mechanischen Belastung auf den Polungsprozess beschrieben und eine effiziente Verlagerung des Polungsprozesses in die Bauteilfertigung (Formgebung und Konsolidierung) vorgenommen werden (C3, B4). Zum Nachweis der Schädigungsfreiheit bzw. zur Analyse des Schädigungszustandes aktiver Faserverbundstrukturen wird ein zerstörungsfreies Prüfverfahren (ZFP) auf Basis des pyroelektrischen Effektes entwickelt und eingesetzt (C8).

### Teilprojekt C3



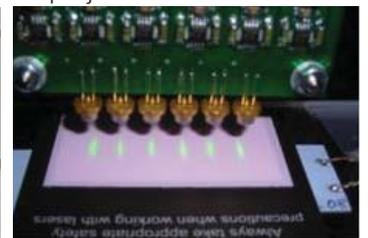
Polarisation in Abhängigkeit des elektrischen Feldes und der mechanischer Belastung

### Teilprojekt C6



Ausgelenkter Biegestreifen

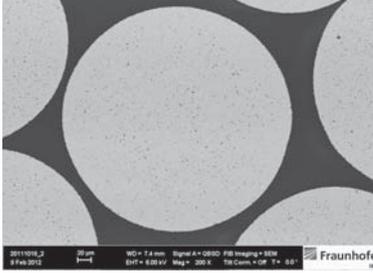
### Teilprojekt C8



LIMM Versuch an einer PZT Keramik

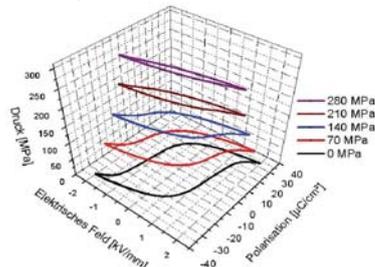
## Arbeitsgruppe Piezokeramik und Charakterisierung - Vorgestellt

### Teilprojekt A1



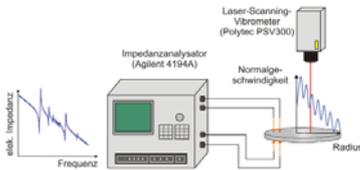
REM- Aufnahme PZT-Fasern

### Teilprojekt C3



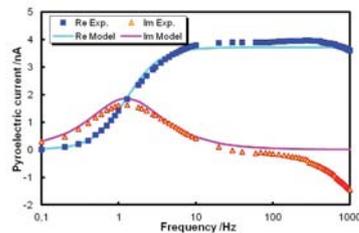
Ferroelektrische Hysteresekurve in Abhängigkeit des äußeren Druckes

### Teilprojekt C6



Messaufbau zur Charakterisierung von piezokeramischen Prozessen

### Teilprojekt C8



Pyrostromspektrum eines LTCC/PZT Moduls im Vergleich zu analytischem Modell

Die Arbeitsgruppe Piezokeramik und Charakterisierung beschäftigt sich mit der Auslegung, Fertigung und Charakterisierung von piezokeramischen Komponenten für die Integration in Leichtbaustrukturen. Ausgehend von den Anforderungen der Prozessketten, werden insbesondere Themen zur Materialauswahl und zu Design-Richtlinien sowie zur Methodenentwicklung und Charakterisierung von spezifischen Materialparametern diskutiert.

Ein besonderer Schwerpunkt der Arbeitsgruppe liegt in der Ermittlung und Auswertung effektiver Materialkenndaten. Messungen des Polarisationszustandes, der mechanischen Auslenkung, der elektrischen Impedanz und des Pyrostromes an Modellstrukturen unter Mehrfeldbelastungen werden mit effektiven Materialdaten integrierter Piezomodule aus den Prozessketten verglichen und bewertet. Um eine Vergleichbarkeit der Messungen an den verschiedenen Modulen der Prozessketten zu gewährleisten, wurden Einheitsplatten definiert, an denen gezielt Werkstoffparameter identifiziert werden.

Die Arbeitsgruppe setzt sich aus Mitgliedern aller Prozessketten zusammen und trifft sich je nach Schwerpunktthema ein- bis zweimal jährlich.

### Treffen am 27.03.2012

Das erste Arbeitsgruppentreffen des Jahres 2012 fand am 27.03.2012 im Fraunhofer IKTS Dresden statt. Im Vordergrund des gemeinsamen Gedankenaustauschs und der Diskussionen stand die Vorstellung und der Abgleich der Messmethoden zur Ermittlung effektiver Materialparameter.



## Teilprojekt A1

Prof. Dr. A. Michaelis, Dr. S. Gebhardt



**Prof. Dr. rer. nat. hab.  
Alexander Michaelis**



**Dr.-Ing. Sylvia Gebhardt**



**Dipl.-Ing. Markus Flössel**



**Dipl.-Ing. Kai Hohlfeld**

## Fertigungstechnologien für integrierbare piezoelektrische Fasern und Laminate

Mit der Entwicklung und Herstellung integrationsfähiger Module auf Basis piezokeramischer Fasern und Laminate steht das Teilprojekt A1 am Anfang der Prozessketten im Transregio. Durch die Konfektionierung der Module in Bezug auf Geometrie, Auswahl und Anordnung piezokeramischer Komponenten und deren Kontaktierung wird die Grundlage für eine serienfähige, form- und stoffschlüssige Integration in Leichtbaustrukturen geschaffen. In Zusammenarbeit mit den angeschlossenen Teilprojekten werden die spezifischen Anforderungen definiert und die so entwickelten Module über effektive Materialdaten charakterisiert.

### Piezokeramische Fasern:

Für die serientaugliche Herstellung piezokeramischer Fasern im Bereich von 200-1000  $\mu\text{m}$  Durchmesser wurde eine Faserspinntechnologie auf Basis eines Phaseninversionsverfahrens entwickelt. Die damit herstellbaren Fasern dienen als Grundlage für Piezofaser-Komposite, die in den Prozessketten „Umformen“ und „Faserverbund“ zum Einsatz kommen. Gegenstand gegenwärtiger Untersuchungen ist die Entwicklung und Konfektionierung der Komposite im Hinblick auf Auswahl des Matrixmaterials und Faseranordnung zur Gewährleistung der Funktionsfähigkeit bei der Weiterverarbeitung in den Prozessketten. Darüberhinaus wird die Herstellung und Charakterisierung weiterer piezokeramischer Komponenten wie Perlen und Kurzfasern für sensorische und aktorische Anwendungen untersucht. Diese sollen mittels neuartiger Multi-Faser-Sprühtechnologie (TP B6) direkt in Polyurethanverbunde integriert werden.



*Piezofaserkomposit-Scheiben*



*Monolagenkomposit*

### Piezokeramische Laminate:



*LTCC/PZT-Modul (LPM)*



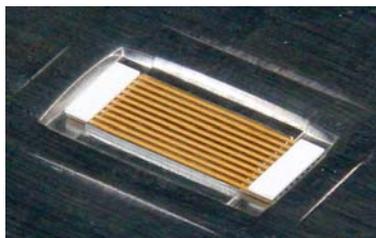
*Röntgenstrukturaufnahme LPM*

Piezomodule für adaptive metallische Strukturen, die komplett aus anorganischen Werkstoffen bestehen und eine Temperaturbelastbarkeit bis 700  $^{\circ}\text{C}$  in der Prozesskette „Gießen“ erwarten lassen, sind bisher nicht bekannt. Das Vorhaben fokussiert auf die Entwicklung robuster Piezomodule, die den Fertigungsschritt des Metalldruckgusses (TP B3) zur Integration in adaptive Strukturen schädigungsfrei und funktions-tüchtig überstehen. Relevant sind aus diesem Grund Verbunde, in denen die mechanische Stabilisierung, die Kontaktierung und die Isolation der elektrodieren Piezokeramik gelöst sind. Als Schlüssel dafür wird die keramische Mehrlagentechnologie eingesetzt. Sie erlaubt die Integration von Piezokeramiken in einen 3-dimensionalen Aufbau aus LTCC (Low Temperature

Cofired Ceramics). Damit können robuste Sensor-Aktor-Module aufgebaut werden, die sowohl eine integrierte Kontaktierung der piezokeramischen Komponente als auch eine Isolation zur Metallmatrix gewährleisten. Ziele wissenschaftlicher Untersuchungen liegen in der Konfektionierung der Module als Funktion der Werkstoffauswahl, des Designs und der Fertigungstechnologie sowie der Aufklärung und Optimierung der Grenzschichteigenschaften.

## Teilprojekt A2

Prof. Dr.-Ing. R. Neugebauer, Prof. Dr.-Ing. A. Schubert



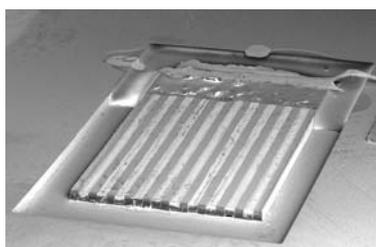
Mikrostruktur in Aluminiumblech und Piezo-Sprossen-Verbund vor dem Fügen



monolithisches Mikroumform-Werkzeug



Versuchsaufbau für die automatisierte Mikromontage



Umformtechnisch gefügter Prototyp eines Piezo-Metall-Moduls

### **Mikrostrukturierung und Integrationstechnologie für Piezofasern in metallische Trägerwerkstoffe (Blech)**

Die Integration flächiger Sensoren und Aktoren in Leichtbaustrukturbauteile, z.B. aus Aluminiumblechen, wird bisher fast ausschließlich durch Kleben von Flächenwandlern erzielt. Der neue Ansatz innerhalb der Prozesskette Blech besteht in der direkten kraft- und formschlüssigen Ankopplung von Piezokeramik-Fasern in umformtechnisch mikrostrukturierte Bleche. Diese Piezo-Metall-Module sind als Funktionselement in Blechstrukturen einsetzbar.

#### **Zielstellung**

Das Teilprojekt A2 zielt auf die Erschließung der Schlüsseltechnologien zur Großserienfertigung von Piezo-Metall-Modulen mit spezifischen Anpassungen für die Anwendung als Sensor und Aktor ab. Die Schwerpunkte der Arbeiten liegen in den Bereichen Mikroumformen, Präzisionsbearbeitung, Mikromontage und umformtechnisches Fügen.

Weitere Ziele sind die Herstellung von Demonstratormodulen und zukünftig die Entwicklung einer großserienfähigen Prozesskette.



**Dipl.-Ing. Benedikt Müller**

#### **Aktuelle Ergebnisse**

Zur Mikrostrukturierung der Aluminiumbleche wurden modulare und monolithische Werkzeugsysteme erprobt, charakterisiert und kontinuierlich weiterentwickelt. Zudem erfolgte die Untersuchung des Einflusses verschiedener Prozessparameter, Werkzeugwerkstoffe, -beschichtungen und Schmierstoffe auf den Umformprozess. Die umformtechnisch strukturierten Aluminiumbleche können direkt mit Piezofasern bestückt werden, die dann im Anschluss mit Hilfe eines angepassten Fügwerkzeuges reproduzierbar durch einen Form- und Kraftschluss mit dem Blech verbunden werden. Zusätzlich zu den Fließpressprozessen erfolgte erste Untersuchung an einem hybriden Umformprozess (Fließpressen und Durchsetzen in einem Hub).



**Dipl.-Ing. Michael Müller**

Mit Blick auf die Serienfähigkeit wurden Fertigungstechnologien für Piezo-Sprossen-Verbunde (PSV) entwickelt und erprobt. Je 10 Piezokeramik-Elemente liegen danach in einem Verbund mit Maßtoleranzen unter  $8 \mu\text{m}$  vor. Abhängig von der Elektrodenanordnung ist die Nutzung des d31-Effekts für Sensorik/Energy-Harvesting und die Nutzung des d33-Effekts als Aktuator möglich.

Für die Montage der PSV wurde ein Mikromontagesystem mit Miniatur-Vakuum-Sauggreifern konzipiert und ein automatischer Montageablauf erzeugt. Dabei erfolgt die Lageerfassung der Mikrostruktur im Blech sowie der PSV ohne zusätzliche Marken durch ein Bildverarbeitungssystem mit Wiederholgenauigkeiten im Bereich weniger Mikrometer.

## Teilprojekt A3

Prof. Dr. F. Richter, Dr. S. Peter



Neues Gebäude des Institutes für Physik der TU Chemnitz



Anlage zur Abscheidung der Isolator- und Elektrodenschichten mittels PECVD bzw. Magnetron-sputtern



L. Formanski, A. Schütze, S. Schröder, Dr. S. Peter, Dr. S. Berg und S. Lösch (v.l.n.r.)

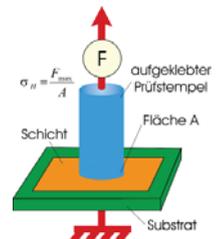
## Dünnschichttechnologien für metallbasierte piezoelektrische Module

### Zielstellung

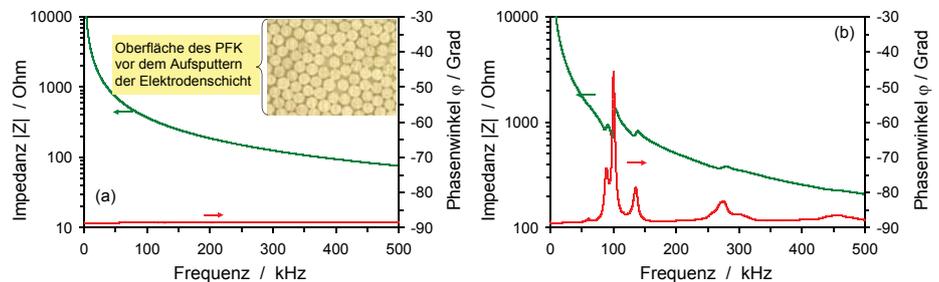
Die im Projektbereich A in Entwicklung befindlichen leichtmetallbasierten piezo-elektrischen Module stellen hohe elektrische und mechanische Anforderungen an die notwendigen Isolator- und Elektrodenschichten. Ein wesentliches Kriterium bei der Entwicklung der Abscheidungsprozesse ist die Haftfestigkeit der Schichten auf dem Piezomaterial PZT bzw. den Piezofaserkompositen (von Teilprojekt A1), müssen doch die Dünnschichten ihre Funktionalität auch in den nachfolgenden Bestückungs-, Kontaktierungs- und Fügeprozessen bei der Modulfertigung (Teilprojekte A2 und A4) bewahren.

### Aktuelle Ergebnisse zu gesputterten Elektrodenschichten:

- Kommerzielle Legierungen CuCr1Zr und CuNi6 verglichen;
- CuCr1Zr Schichten mit deutlich besserer elektrischer Leitfähigkeit bei vergleichbarer Haftfestigkeit (Pull-Test);
- Auch auf Piezofaserkomposit („PFK“; von Teilprojekt A1) haftfeste Elektroderung durch Sputtern realisiert;

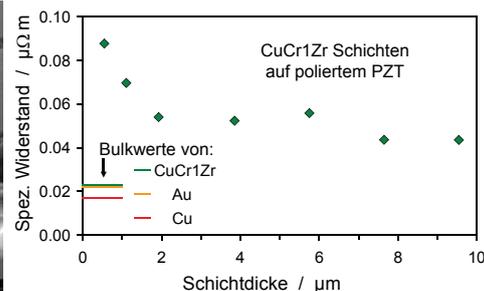
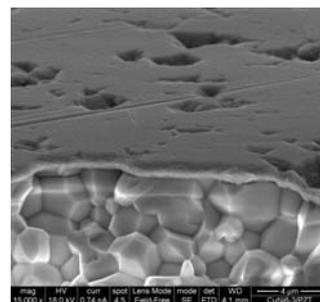


Schema Pull-Test



Impedanzanalyse an (a) einer unpolarisierten und (b) einer polarisierten PFK-Probe jeweils mit gesputterten Elektrodenschichten aus CuCr1Zr

- Reduzierte Rauheit des PZT Substrates (mittels Läppen und Polieren; TP A2) ermöglicht niedrigen spezifischen Widerstand der Elektrodenschichten;



Elektrodenschichten auf geläpptem/poliertem PZT sind in großen Bereichen homogen und besitzen ab ca. 2  $\mu\text{m}$  Dicke einen niedrigen spezifischen Widerstand

## Teilprojekt A4

Prof. Dr.-Ing. M. Schmidt, Prof. i.R. Dr.-Ing. M. Geiger

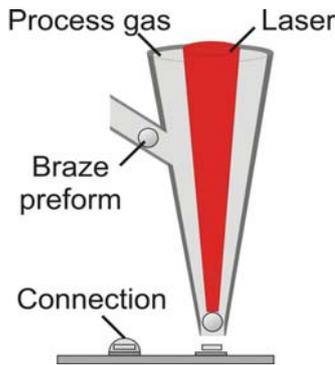


Bild 1: Prinzip des Lötprozesses

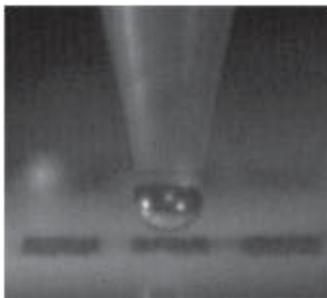


Bild 2: Flugphase eines Hartlöttröpfens

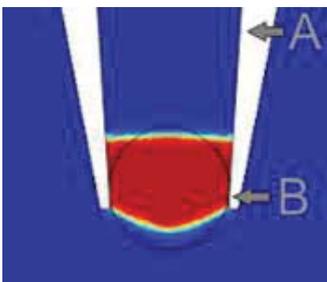


Bild 3: Simulation des Aufschmelzens mittels Laser

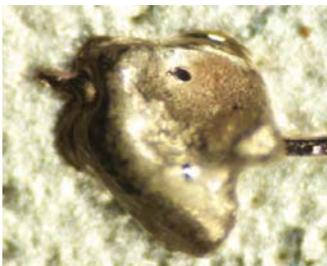


Bild 4: Erfolgreiche Kontaktierung

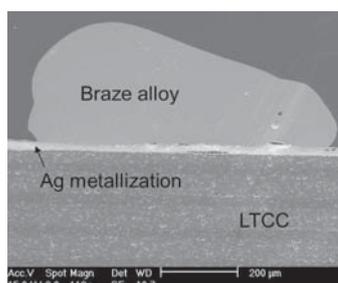


Bild 5: Schliffbild einer Lötung

## Laserbasierte elektrisch-mechanische Kontaktierung für Verbundkomponenten mit integrierten aktiven Elementen

### Zielstellung

Die elektrisch-mechanische Kontaktierung piezokeramischer Module unterliegt besonderen Anforderungen bezüglich elektrischer Leitfähigkeit, mechanischer Festigkeit und thermischer Beständigkeit. Da die Piezokeramik und die aufgebrachte dünne Metallisierung nicht geschädigt werden darf, ist ein schweißtechnischer Verbindungsprozess nicht anwendbar. Selbst konventionelles Laserstrahllöten mittels Lötendraht erzeugt zu hohe thermische Gradienten im keramischen Substrat, die zu einer Rissbildung führen können.

Aus diesem Grund muss die eingebrachte Energie sehr genau dosiert werden. Dies wird durch die Verwendung sphärischer Löt-Formteile realisiert: eine kleine Löt-kugel mit einem Durchmesser von ca. 600 µm wird in einer konischen Keramik-Kapillare gehalten und dort mittels Laserstrahlung geschmolzen. Das flüssige Lot wird anschließend durch Stickstoff mit einem Druck von bis zu 200 mbar aus der Kapillare gepresst und auf dem ca. 1 mm entfernten Substrat positioniert. Hier benetzt das Lot die Metallisierung der Piezokeramik und einen zu kontaktierenden Draht und stellt somit beim Erstarren eine Verbindung zwischen Keramikmodul und Draht her.

Durch dieses Verfahren wird Energie einzig durch den flüssigen Löttröpfen in das Substrat eingebracht, was eine sehr schonende und genaue Kontaktierung ermöglicht. Thermische Schocks und die resultierenden Risse der Piezokeramik können somit vermieden werden. Während in der Prozesskette Faserkunststoffverbunde Weichlote (<450 °C) verwendet werden können, erfordern die höheren Temperaturen in der Prozesskette Gießtechnische Integration den Einsatz von Hartlot.

### Ergebnisse

Das laserbasierte Löten mit Formteilen ist sowohl mit Hart- als auch mit Weichloten erfolgreich demonstriert worden. Das Verfahren ermöglicht die schadungsfreie Herstellung von thermisch und mechanisch stabilen Kontaktstellen auf keramischen Bauteilen mit dünner Metallisierung. Die Einflüsse verschiedener Einflussgrößen wie Laserleistung, Pulsdauer, Stickstoffdruck, Fallhöhe und verschiedene Materialkombinationen wurden untersucht und optimale Parameter identifiziert.

Die hohen Temperaturen beim Hartlöten stellen dabei eine besondere Herausforderung an die verwendete Keramik-Kapillare dar. Insbesondere die Langzeitbeständigkeit, die für eine Großserienfertigung notwendig ist, bedarf noch einer weiteren Optimierung. Die Qualität der Lötungen hinsichtlich Positionierungsgenauigkeit, Lötstellenhöhe und mechanische Festigkeit sind jedoch bereits sehr gut. Die mittlere Scherfestigkeit der Kontaktstellen beim Hartlöten (Lot: Cu89Sn11) beträgt ca. 78 N/mm<sup>2</sup> bei einer Lötstellenhöhe von unter 200 µm.

## Teilprojekt A5

Prof. Dr.-Ing. M. Gude



Dipl.-Ing. Tony Weber



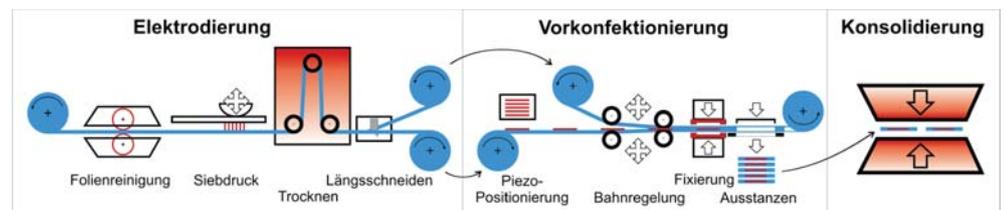
Dr.-Ing. Thomas Heber



Prof. Dr.-Ing. Maik Gude

### Entwicklung thermoplastverbundkompatibler Piezokeramik-Module (TPM) und zugehöriger Herstellungsverfahren

Aktuell werden bei der Fertigung von adaptiven Leichtbaustrukturen aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen die piezokeramischen Funktionsmodule (Aktuatoren, Sensoren) erst nach der Strukturherstellung in einem zusätzlichen, aufwändigen Montageschritt meist klebtechnisch auf der Oberfläche appliziert. Zudem basieren die unter hohem manuellen Aufwand gefertigten kommerziell verfügbaren Funktionsmodule auf Polyimid-Trägerfolien, die sich aufgrund begrenzter Werkstoffkompatibilität nur schwer in Faser-Kunststoff-Verbundstrukturen mit Polyamid- oder Polyetheretherketon-Matrix einbinden lassen. Für den Übergang von der montageorientierten hin zu einer serienfähigen, technologieorientierten Integration thermoplastverbundkompatibler Funktionsmodule sind daher neue Lösungsansätze erforderlich, die ganzheitlich sowohl den Fertigungsrestriktionen als auch der Anbindungsproblematik Rechnung tragen. Im Rahmen des Teilprojekts A5 erfolgt die systematische Entwicklung von neuartigen thermoplastverbundkompatiblen Piezokeramik-Modulen (TPM), deren Trägerfolie bereits stofflich auf den Matrixwerkstoff der Thermoplastverbundstruktur abgestimmt ist, sowie die Entwicklung großserienfähiger Produktionstechnologien für die entwickelten Module.



TPM-Fertigungsprozess

Im Teilprojekt A5 konnten wesentliche Moduldesigns in den angedachten Fertigungskonzepten simulativ ausgelegt und technologisch umgesetzt werden, so dass die hergestellten TPM zur Verwendung als Aktoren und Sensoren bereit stehen. Dabei sind die Arbeiten bei der Entwicklung und Inbetriebnahme der konzipierten Montage und Zuführereinheit soweit fortgeschritten, dass die Anlage mit einer Fertigungskapazität von bis zu 10 Moduln pro Minute gefahren werden kann. Um die entsprechenden Stückzahlen realisieren zu können, müssen die funktionalisierten Polymerfolien von entsprechender Qualität sein. Hierzu wurde eine Anlage zur quasi-kontinuierlichen drucktechnischen Elektrodenapplikation konzipiert, welche dem TP A5 im 4. Quartal 2012 zur Verfügung steht. Dies garantiert zum einen eine reproduzierbare Fertigung qualitativ hochwertiger TPM und bietet zum anderen zusätzliche Designfreiheit was die Umsetzung der Anforderungen anderer Teilprojekte hinsichtlich Geometrie und Robustheit der Module betrifft.



Applizierte Elektrodenstruktur

## Teilprojekt A6

Prof. Dr.-Ing. L. Kroll



Professur Strukturleichtbau  
und Kunststoffverarbeitung



**Dipl.-Ing. Michael Heinrich**  
erarbeitet die Technologie  
zur Mikrospritzgieß( $\mu$ IM)-  
verarbeitung.



**Dipl.-Wirt.-Ing.  
Marco Walther** obliegen die  
experimentellen und theoretischen  
Untersuchungen zu den  
 $\mu$ IM-Piezomodulen.



**Techniker Matthias Gerber**  
ist Anlagenverantwortlicher für die  
Mikrospritzgießanlage Battenfeld  
Mikrosystem 50.

## Fertigungstechnologien für Piezomodule mit integrierten Keramikfaser-Kompositen und Funktionspolymeren zum Einsatz in aktiven metallischen Bauteilen

### Zielstellung

Das wesentliche Ziel des Teilprojekts A6 ist die Erforschung einer neuen großserienfähigen Kunststofftechnologie für die Herstellung komplexer Piezomodule unter Verwendung einer 2-Komponenten(2K)-Mikrospritzgießanlage. Dabei sollen Piezoelemente über geeignete Bestückungssysteme der Spritzgießkavität zugeführt und fixiert werden. In dem sich anschließenden Injektionsprozess wird das modulare Werkzeug mit einem elektrisch leitfähigen thermoplastischen Kunststoff gefüllt, wodurch die Piezokeramiken kontaktiert werden. In einer weiteren Spritzgießstufe erfolgt eine Umfüllung mittels eines elektrisch isolierenden Kunststoffes, um das Modul für die Weiterverarbeitung zwischen Metallschichten in der Prozesskette „Umformen“ vorzubereiten.

### Ergebnisse

Im Vergleich zur konventionellen Spritzgießverarbeitung existieren bislang nur unzureichende Erkenntnisse über die Verarbeitung von funktionalisierten thermoplastischen Kunststoffen im Mikrospritzguß. Daher lag der Fokus der Untersuchungen auf der Verarbeitung von Polypropylen (PP) als ungefülltes und für die elektrische Kontaktierung mit Kohlenstoffnanoröhren (CNT) gefülltes Matrixmaterial. Eingehend untersucht wurden dabei der Einfluss der Schmelztemperatur des Kunststoffes und der Einspritzgeschwindigkeit auf Mikroebene, um für einen nachgelagerten Umformprozess robuste Piezomodule erzeugen zu können.

Bei einer Verarbeitung mit einer zunehmend höheren Schmelztemperatur nehmen E-Modul und Zugfestigkeit für reines PP und für die mit unterschiedlichen Füllgraden an CNT hergestellten Composite signifikant ab, wobei der ungefüllte Werkstoff stärker von der Temperatur beeinflusst wird (vgl. Tab. 1). Analoges konnte für den zweiten Verarbeitungsparameter „Einspritzgeschwindigkeit“ untersucht werden. Mit steigender Einspritzgeschwindigkeit fällt der E-Modul der Nanokomposite gegenüber reinem PP nur geringfügig ab. Deutlich ausgeprägt ist der Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit auf die Zugfestigkeit, vor allem beim ungefüllten Werkstoff (vgl. Abb. 1).

Tab. 1:  
Einfluss der Schmelztemperatur auf die Zugfestigkeit von mit unterschiedlichen Füllgraden hergestellten Zugproben

Füllgrad CNT [%]	Zugfestigkeit [MPa]		Differenz [%]
	240 °C	300 °C	
0	30,65	26,14	14,71
1	34,44	32,87	4,56
2	35,53	33,37	6,08
3	37,34	35,10	6,00
4	38,57	35,80	7,18
5	39,36	36,11	8,26

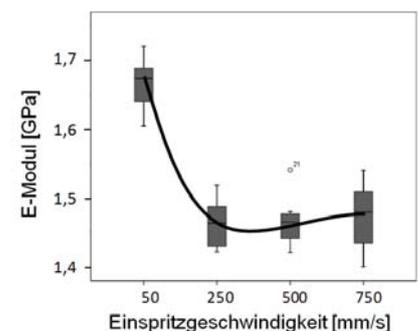


Abb. 1:  
Darstellung des Einflusses der Einspritzgeschwindigkeit auf den E-Modul von mit 5 Gew.-% gefüllten Polypropylen

## Aktuelles - Gleichstellung

### Technische Universität Chemnitz - Chancengleichheit in der Forschung

Für alle koordinierten Verfahren wie Graduiertenkollegs, Forschergruppen und Sonderforschungsbereiche stellt die Deutsche Forschungsgemeinschaft Mittel für Chancengleichheitsmaßnahmen bereit. Die DFG fordert die Antragstellenden explizit auf, diese Mittel zu beantragen und auch entsprechend abzurufen - denn Gleichstellung ist eines der entscheidenden Kriterien bei der Begutachtung der Anträge.

In den zurückliegenden Monaten fanden deshalb Gespräche zwischen der Zentralen Gleichstellungsbeauftragten, der Referentin der Frauen- und Gleichstellungsbeauftragten, sowie den Verantwortlichen der derzeit laufenden sowie in Beantragung befindlichen DFG-geförderten Forschungsprojekte der TU Chemnitz statt. Ziel war es dabei, aufzuzeigen, welche gleichstellungsfördernden Maßnahmen zum einen in den jeweiligen Projekten verfolgt und zum anderen, welche Synergien sich im Rahmen der vorgesehenen Maßnahmen ergeben und gemeinsam genutzt werden können. Damit kann künftig ein maßgeschneidertes Angebot für die Mitarbeitenden in den Forschungsverbänden zur chancengerechten Karriereentwicklung sowie zur Vereinbarkeitsförderung erstellt werden.

Die Gleichstellungsbeauftragte informierte über die Angebote zur Integration von Gleichstellungsaspekten in den DFG- Forschungsanträgen sowie zu Unterstützungsmöglichkeiten bei der Ausarbeitung von Konzepten zur Gleichstellung sowie bei der Auswahl, Planung und Begleitung geeigneter Maßnahmen.

Ausführliche Hinweise zu diesem Thema bietet der neue Flyer „DFG-Chancengleichheitsmittel in koordinierten Verfahren“ sowie die Web-Seiten des Zentrums für Chancengleichheit in Wissenschaft und Forschung.

**Informationen:** [www.tu-chemnitz.de/gleichstellung/service/dfg.php](http://www.tu-chemnitz.de/gleichstellung/service/dfg.php)

Mit Unterstützung aller Teilprojekte des SFB TR 39 PT-PIESA konnten dieses Jahr verschiedene Aktionen im Rahmen der Gleichstellung durchgeführt werden.



DFG-Chancengleichheitsmittel  
in koordinierten Verfahren



Flyer des Zentrums für Chancengleichheit in Wissenschaft und Forschung



Der Leiter der Berufsausbildung im Volkswagen Bildungsinstitut, T. Meinhold, führte die Gäste durch die Ausbildungswerkstätten.

Foto: TU Chemnitz

Ausbildung bietet. Nicht zuletzt wurden die Vorteile, die das sogenannte duale Studium - das Studium im Praxisverbund „StiP“ - bietet, dargestellt.

Ein richtiger Höhepunkt des Sonderpädagogischen Tages war für die Teilnehmer dann der Besuch des Fahrzeugwerkes Zwickau von Volkswagen Sachsen. Eine echte Produktionsstätte zu erleben, wie sie heutzutage funktioniert, war für viele sicher die Abrundung der Veranstaltung.

Der gesamte Artikel kann unter <http://www.tu-chemnitz.de/tu/presse/aktuell/2/4547> nachgelesen werden.

### Sonderpädagogischer Tag

Mit großem Erfolg wurde am **30.08.2012** mit dem Lehrerkollegium des Chemnitzer Dr.-Wilhelm-André-Gymnasiums ein Sonderpädagogischer Tag gemeinsam mit der Technische Universität Chemnitz, der Volkswagen Sachsen GmbH und der Volkswagen Bildungsinstitut GmbH Zwickau durchgeführt.

Das Programm startete in der Früh auf dem Campus in Chemnitz mit eindringliche Worte zur Wertschöpfungssituation in Deutschland, die durch die demografische Entwicklung drohenden Gefahren und die Notwendigkeit für die Sicherstellung des Nachwuchses in den produktiven Bereichen. Ein weiterer Veranstaltungspunkt war der Besuch im Volkswagen Bildungsinstitut Zwickau. Diese Einrichtung ist ein wichtiger Träger für die Aus- und Weiterbildung in der Region. Der Geschäftsführer Dr. Holger Natuschewski gab einen Überblick über die Möglichkeiten und für welche Berufe das Institut jungen Menschen die besten Voraussetzungen für die

## Aktuelles - Gleichstellung

### Technik ist weiblich – die PT-PIESA Studentinnen Akademie 2012



Frau Dr. Gebhardt vom Fraunhofer IKTS zeigt die Herstellung piezokeramischer Fasern



Teilnehmer der PT-PIESA Studentinnen Akademie

Technik ist weiblich - unter diesem Motto fand vom **29. September bis zum 2. Oktober 2012** in Dresden die erste PT-PIESA Studentinnen Akademie statt. Zehn junge Frauen – Studentinnen der TU Chemnitz, der TU Dresden, der TU BA Freiberg und der Universität Liberec hatten sich dafür eingeschrieben.

Die Veranstaltung, organisiert durch die Geschäftsstelle des SFB/TR 39 PT-PIESA hatte das Ziel, die Studentinnen mit einem Einblick in die vielfältige und abwechslungsreiche Forschungsarbeit des Sonderforschungsbereiches für eine wissenschaftliche Laufbahn an einer der teilnehmenden Institutionen zu interessieren und damit der immer noch auffälligen Minderheit von weiblichen Wissenschaftlern in unseren technischen Fachgebieten entgegenzuwirken.

Das Programm enthielt unter anderem ein Seminar, in dem die Teilnehmerinnen wichtige „Soft Skills“ erwerben konnten und das Fraunhofer IKTS Dresden sowie das Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der TU Dresden organisierten den PT-PIESA Tag mit Fachvorträgen und Laborführungen. Die Studentinnen zeigen großes Interesse an der Forschung des SFB Transregios und der eingesetzten Labortechnik.

Zum Abschluss besuchten die Teilnehmerinnen „Elbflorace“, ein studentisches Projekt an der TU Dresden, welches in völlig eigener Regie Rennwagen der „Formula Student“ entwickelt, baut und damit zu internationalen Wettbewerben startet. Zur Auswertung am letzten Tag hielten die Teilnehmerinnen nicht mit ihren Einschätzungen hinter dem Berg, aber das Fazit war äußerst positiv. Alle fuhren mit einem Schatz an neu gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen nach Hause.

## Familienfreundlichkeit

### 05.07.2012 - ILK wird mit 1. Preis für Familienfreundlichkeit ausgezeichnet

Das Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der Technischen Universität Dresden erhält mit Hilfe der vorbildlich für die Einrichtung eines Eltern-Kind-Büros eingesetzten DFG-Fördermittel für Gleichstellung und Nachwuchsförderung im **Wettbewerb für Familienfreundlichkeit den 1. Preis**. Der Preis wurde 2011 zum 5. Mal von der TU Dresden ausgeschrieben. Im Rahmen des Wettbewerbs werden Struktureinheiten und Einzelpersonen innerhalb der Universität ausgezeichnet, die sich in besonderer Weise um familienfreundliche Studien- und Arbeitsbedingungen verdient machen.



M.A. Julia Nowak, Dr. rer. biol. hum. Corinna Jacobi, Prof. Dr.-Ing. habil. Maik Gude, Prof. Dr. rer. nat. Axel Voigt, Dr. rer. medic. Karen Voigt, Nicole Groß, (v.l.n.r.) Foto: TUD/Eckold

## Rückblick / Ausblick / Impressum

### Dissertationen

**Dr.-Ing. Thomas Heber**

Integrationsgerechte Piezokeramik-Module und großserienfähige Fertigungstechnologien für multifunktionale Thermoplastverbundstrukturen. Dissertation, TU Dresden, 2011

**Dr.-Ing. Bent Brückner**

Neue Methodik zur Modellierung und zum Entwurf keramischer Aktorelemente, 2011

**Dr.-Ing. Michael Nicolai**

Polarisierungsverhalten von Piezokeramik unter kombinierter elektrischer, mechanischer und thermischer Beanspruchung, 2012

### Rückblick

**12.03.2013 Arbeitskreistreffen Piezokeramik/Charakterisierung und Faserverbund**

**Ort:** Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik ILK, Technische Universität Dresden, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden

**Infos:** Anja Winkler, Telefon: 0351 463 42498, E-Mail: a.winkler@ilk.mw.tu-dresden.de

**22.02.2013 Gastvortrag von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Piotr Gendarz von der Schlesischen Technischen Universität in Gliwice, Polen** zum Thema „Verbindung der Theorie der Konstruktionsähnlichkeit mit Cluster Analyse bei der Bildung geordneter Konstruktionsfamilien“**07.12.2012 Gastvortrag von Herrn Prof. Dr.-Ing. Hiroshi Asanuma von der Graduate School of Engineering der Chiba University (Japan)** über seine aktuelle Forschung zu **aktiven Materialsystemen**.**27.11.2012 Gastvortrag von Herrn Prof. Mgr. Jiri Erhart, Ph.D. von der Technischen Universität Liberec**

zum Thema: „Piezoelectric ceramic discs, plates and bars for electrical signal transformation“

**10.08.2012 Gastvortrag von Frau Prof. Dr.-Ing. Stefanie Reese vom Institut für Angewandte Mechanik der RWTH Aachen**

zum Thema: „Materialmodellierung (Metalle und Faserverbunde) und Finite-Elemente-Technologie in der Produktionstechnik

**03.08.2012 Gastvortrag Prof. Piotr Gendarz** zum Thema: „Parametrisierung mit Anwendung der Ähnlichkeitstheorie und neuen Werkstoffen in fortgeschrittener graphischer Programme“**31.07.2012 Gastvortrag von Herrn Blaz Krese, Laboratory of Synergetics, University of Ljubljana**

zum Thema: „Deterministic Chaos and Laser Droplet Sequence Generation“

**22.06.2012 Gastvortrag von Frau Ing. Katarina Novakova von der Technischen Universität Liberec**

zum Thema: „Application of piezoelectric macro-fiber-composite actuators for the suppression of noise transmission through glass windows“

**12.06.2012 Arbeitskreistreffen Umformen****03.05.2012 Mitgliederversammlung des SFB/TR 39 PT-PIESA****27.03.2012 Gastvortrag Prof. Piotr Gendarz** zum Thema: „CAD/CAM-Integration unter Anwendung von Ähnlichkeitsgesetzen für neuartige Werkstoffe“

### Ausblick

**26.-27.03.2013 4. Wissenschaftliches Symposium des SFB TR 39 PT-PIESA, Nürnberg**

### Impressum

Herausgeber: SFB Transregio 39

Sprecher: Prof. Dr.-Ing. habil. Reimund Neugebauer

Kontakt: Dr. Hartmut Dube, Geschäftsführer, Tel.: 03 71 / 5397-13 11, E-Mail: pt-piesa-gs@mb.tu-chemnitz.de

Transregio 39 ist ein Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG.