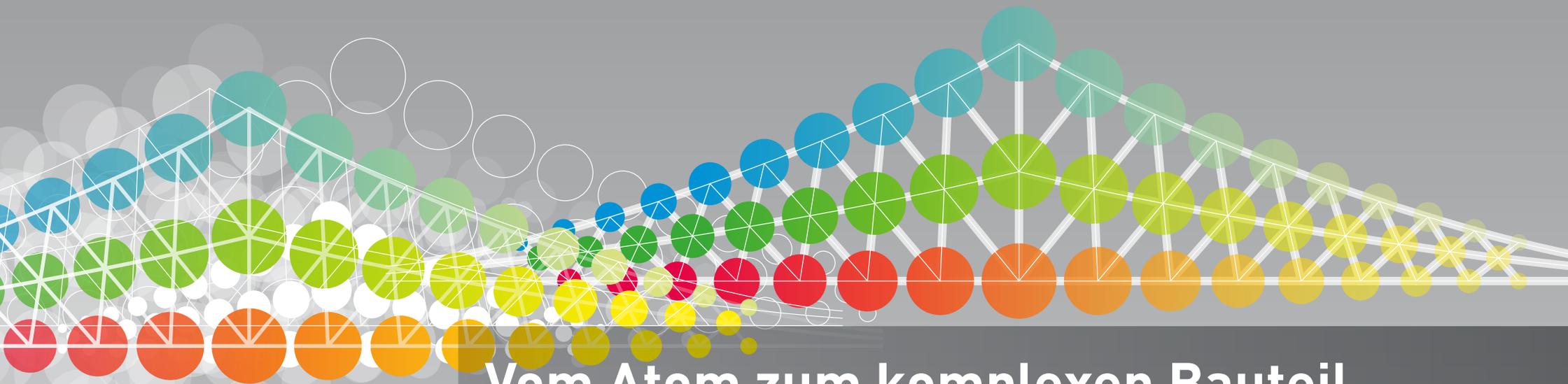




TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



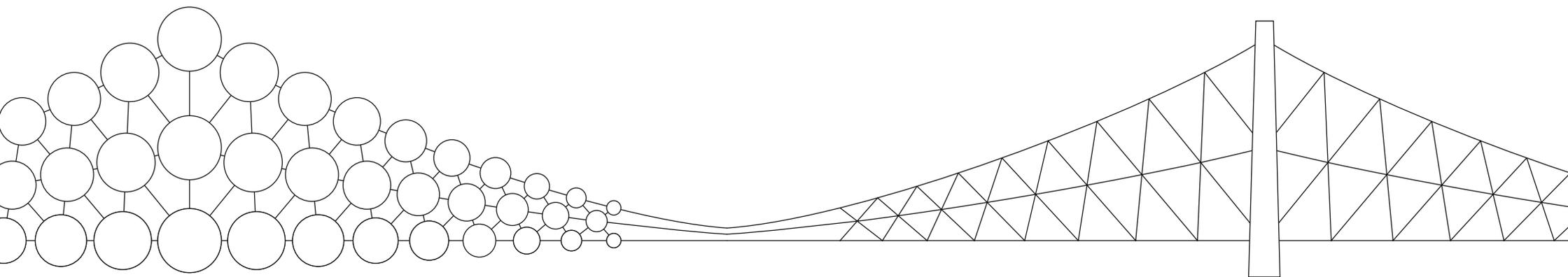
Vom Atom zum komplexen Bauteil

Mehrkomponentenwerkstoffe mit erweitertem Einsatzspektrum für
Hochtechnologieanwendungen im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau

Energietechnik. Umwelttechnik. Leichtbau.

DRESDEN
concept





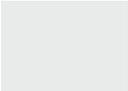
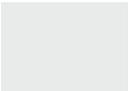
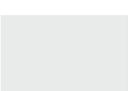
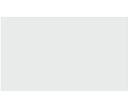
From Atoms to Complex Devices

Multicomponent Materials with an Extended Potential for High-Tech Applications
in Mechanical Engineering, Plant Construction and Automotive Industry

Energy Management. Environmental Engineering. Lightweight Engineering.

Inhalt

5

	Editorial	6		CerMetComp: Keramik und Metall – zwei starke Partner im Verbund	52
	Zentrale Koordinierungsstelle	9		CarboFunctCoat: Verschleißfest beschichtet	57
	HSMetComp: Feine Körnung, fester Werkstoff	12		Enertrode: Große Oberflächen	62
	MolDiagnostik: Textilien mit Funktion	17		ProbaCast: Prozesse simulieren	67
	MobilStor: Energie: Wandlung, Transport, Speicherung	22		SmaComp: Intelligente Materialien	72
	CoMeT: Stabil gewebt	27		CerHeatPipe: Abwärme nutzen	77
	TECer: Abwärme liefert Strom	32		An den Projekten beteiligte Institute	82
	SwitchComplI: Flüssigkeiten mit innerer Stärke	37		ECEMP – Vom Atom zum komplexen Bauteil	83
	NanoWearJoin: Alles Nano in der Schicht	42		Impressum	84
	BioHybrid: Leichtbau mit Pflanzen	47			

Editorial

Dresden verfügt, auch international betrachtet, über eine nahezu einmalige Breite und Vielfalt an universitären und außeruniversitären wissenschaftlichen Ressourcen.

Unser Ziel ist es, diese Kompetenzen zu vernetzen und den Ausbau der drei Zukunftsfelder Energietechnik, Umwelttechnik und Leichtbau weiter voranzutreiben. Die Fokussierung auf diese Schlüsseltechnologien hat entscheidende Gründe. Die Umwelt- und Energietechnik sind zentrale Bestandteile für die Lösung drängender Zukunftsaufgaben und werden mit Fortschreiten der Energiewende für den Technologiemoor Deutschlands einen herausragenden Platz einnehmen. Der Leichtbau ist eine der Basistechnologien für einen ressourcenschonenden Automobil- und Maschinenbau, die Technologiefelder, auf denen im Wesentlichen unsere wirtschaftliche Stärke beruht.

Etwa 70 Prozent aller technischen Innovationen hängen direkt oder indirekt von den Eigenschaften der verwendeten Materialien ab. Um unsere Innovationskraft weiter zu steigern, ist es daher unerlässlich, neue Wege zu

gehen und zur Entwicklung von Werkstoffen ganz neue Konzepte und Ideen zu finden. So ist es ECEMP-Wissenschaftlern im Teilprojekt HSMetComp beispielsweise gelungen, durch mehrfaches Umformen von Werkstoffen ultrafeinkörnige Bänder, Drähte und Bleche herzustellen, die sehr hart, gleichzeitig immer noch gut duktil und dazu auch noch besonders leicht sind.

Die Forscher im Teilprojekt CoMeT entwickeln Halbzeuge, in denen dreidimensionale Drahtstrukturen als Verstärkungstextilien dienen. Crashversuche haben gezeigt, dass diese, eingesetzt in Polymermatrix-Verbunde, das Energieabsorptionsvermögen im Vergleich zu unverstärkten Proben um bis zu 600 Prozent steigern können.

Im Teilprojekt CarboFunctCoat beschichten die Forscher bewegte Motorenteile wie Nockenwelle oder Kolbenbolzen mit diamantartigen Kohlenstoffschichten. Damit lässt sich die Reibung im Motor deutlich minimieren. In Kombination mit Biokraftstoffen tritt sogar Superlubrizität auf, die Reibung verschwindet also völlig.

Die Wissenschaftler im ECEMP-Teilprojekt Enertrode zeigen, dass sich mit neuen Materialkonzepten die Effizienz von Brennstoffzellen und die Energiespeicherkapazität von Superkondensatoren noch einmal deutlich erhöhen lassen.

Das Spitzentechnologiecluster „ECEMP – European Centre for Emerging Materials and Processes Dresden“ wurde 2007 gegründet und ging ein Jahr später als einer der Gewinner aus der Sächsischen Landesexzellenzinitiative hervor. Es verfügt über ein außerordentliches Know-how und Wissenspotenzial und bietet beste Voraussetzungen für die Entwicklung neuartiger Mehrkomponentenwerkstoffe.

Die Werkstoffe und die daraus resultierenden Hochtechnologiebauteile entwickeln die Forscher in 14 Teilprojekten skalienübergreifend, getreu dem Motto „Vom Atom zum komplexen Bauteil“. Dabei vernetzen sie die Kompetenzen aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften. Umfassende Kenntnisse in allen vier Materialklassen, erlauben es ihnen, neuartige Mehrkomponentenwerkstoffe, Technologien und Prozesse unter

Verwendung von Metallen, Polymeren, Naturstoffen und Keramiken zu entwickeln.

Auf den folgenden Seiten möchten wir Ihnen die einzelnen Projekte des Spitzentechnologieclusters sowie die Aufgaben und Ziele des ECEMP näher vorstellen.



Prof. Werner A. Hufenbach
Sprecher des ECEMP



Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen und hoffen, mit dieser Broschüre auch Sie „skalienübergreifend“ auf neue Ideen zu bringen.

„Die Technik von heute ist das Brot von morgen –
die Wissenschaft von heute ist die Technik von morgen.“

Richard von Weizsäcker (*1920), dt. Politiker, 1984 – 94 Bundespräsident

Zentrale Koordinierungsstelle



Dresden gehört zu den führenden Materialforschungsstandorten Deutschlands und nimmt auch international eine Spitzenstellung ein. Um diesen Vorsprung weiter auszubauen, wurde im November 2007 das „ECEMP – European Centre for Emerging Materials and Processes Dresden“ gegründet und ging knapp ein Jahr später als einer der Gewinner

der Sächsischen Landesexzellenzinitiative hervor. Der Sprecher des ECEMP ist Prof. Werner A. Hufenbach.

Der **sächsische Spitzentechnologiecluster ECEMP** besteht aus einem interdisziplinär arbeitenden Forscherteam von 40 Professuren der TU Dresden, der Hoch-

schule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) sowie der TU Bergakademie Freiberg. Ebenfalls in das ECEMP eingebunden sind außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, die nachfolgenden Ausführungen zu entnehmen sind.

Die **Wissenschaftler im ECEMP** entwickeln in 14 Teilprojekten neuartige Mehrkomponentenwerkstoffe mit erweitertem Einsatzspektrum für die drei Zukunftsfelder Energietechnik, Umwelttechnik und Leichtbau.

Die Breite und Vielschichtigkeit dieser Forschungslandschaft besticht durch ein durchgängiges skalenübergreifendes Know-how in den Materialklassen der Metalle, der Kunststoffe, der Naturstoffe und der Keramiken.

Entsprechend der Leitidee des ECEMP „Vom Atom zum komplexen Bauteil“ werden für die gesamte Wertschöpfungskette – vom Materialdesign über Entwicklung und Herstellung bis zum Bauteil – die dazugehörigen Technologien entwickelt. Diese, auch im internationalen Vergleich exzellenten werkstoffübergreifenden

Kompetenzen, spiegeln sich in jedem der 14 Teilprojekte wider.

Die **ECEMP-Geschäftsstelle** verwaltet das Netzwerk aller 14 Teilprojekte, verknüpft deren Interessen und Kompetenzen und ist Ansprechpartner aller ECEMP betreffenden Themen nach innen und außen.

Weiterhin bildet die Geschäftsstelle die Schnittstelle zwischen Fördergeber und den ECEMP-Projektpartnern und gibt Hilfe bei der Antragstellung und Abrechnung der bewilligten Fördermittel.



Eingebundene Forschungseinrichtungen

Technische Universität Dresden

Professuren für Anorganische Chemie
 Institut für Automobiltechnik
 Institut für Botanik
 Institut für Energietechnik
 Institut für Fertigungstechnik
 Institut für Festkörperelektronik
 Institut für Festkörpermechanik
 Institut für Festkörperphysik
 Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik
 Institut für Holz- und Papiertechnik
 Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik
 Professuren für Makromolekulare Chemie
 Institut für Pflanzen- und Holzchemie
 Professuren für Physikalische Chemie und Elektrochemie
 Institut für Strömungsmechanik
 Institut für Strukturphysik
 Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik
 Institut für Theoretische Physik
 Institut für Werkstoffwissenschaft
 Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

TU Bergakademie Freiberg

Gießerei-Institut
 Institut für Mechanik und Fluidodynamik
 Institut für Werkstofftechnik

HTW Dresden

Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik

Außeruniversitäre Forschungs- einrichtungen

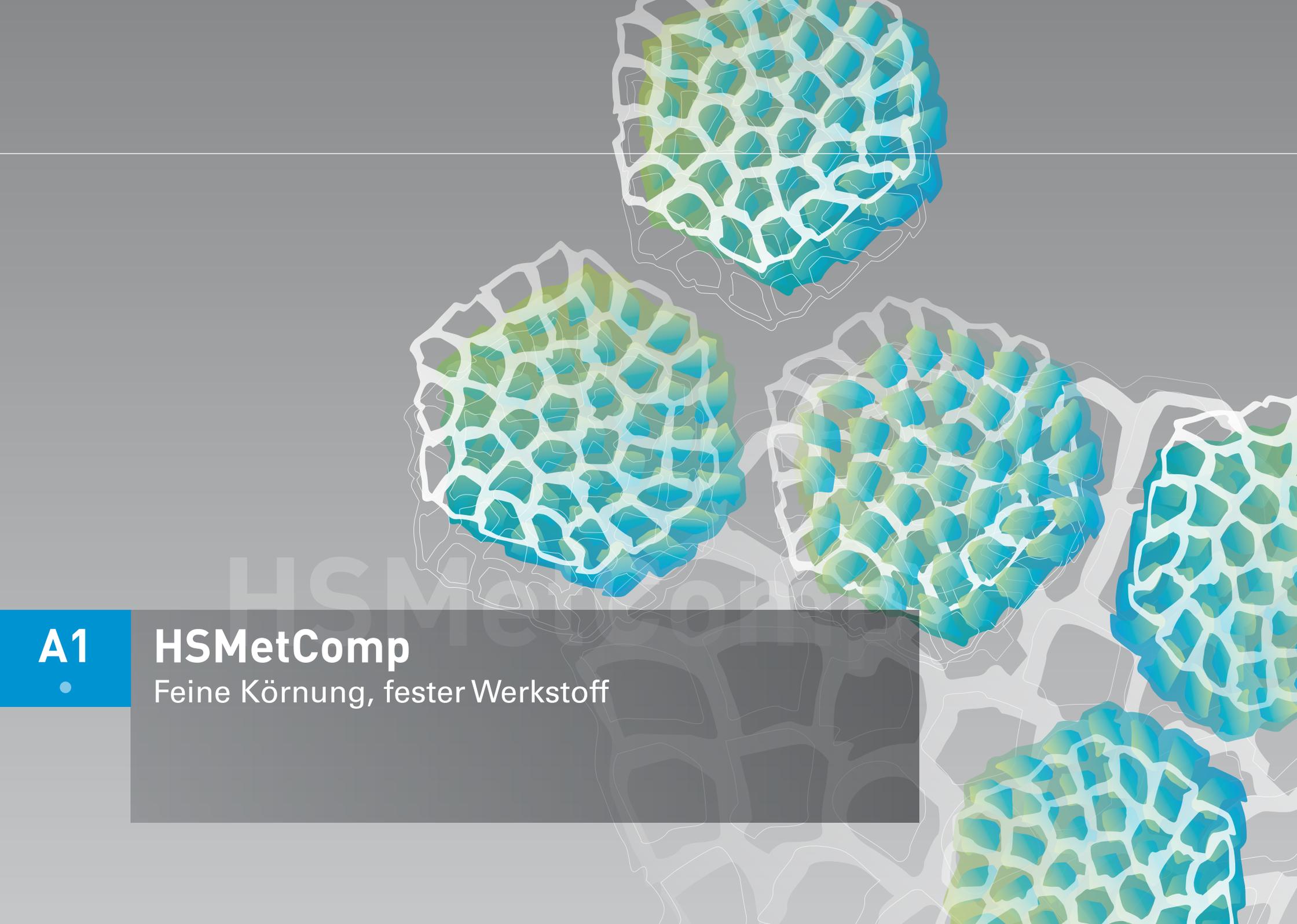
Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
 Fraunhofer IFAM Dresden
 Fraunhofer IKTS Dresden
 Fraunhofer IPMS Dresden
 Fraunhofer IWS Dresden
 Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW Dresden)
 Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.
 Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe (MPI CPfS)

Sprecher

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
 Werner A. Hufenbach,
 Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik
 Telefon: +49 (0)351 463 38142
 Fax: +49 (0)351 463 38143
 E-Mail: ilk@ilk.mw.tu-dresden.de

Geschäftsführung

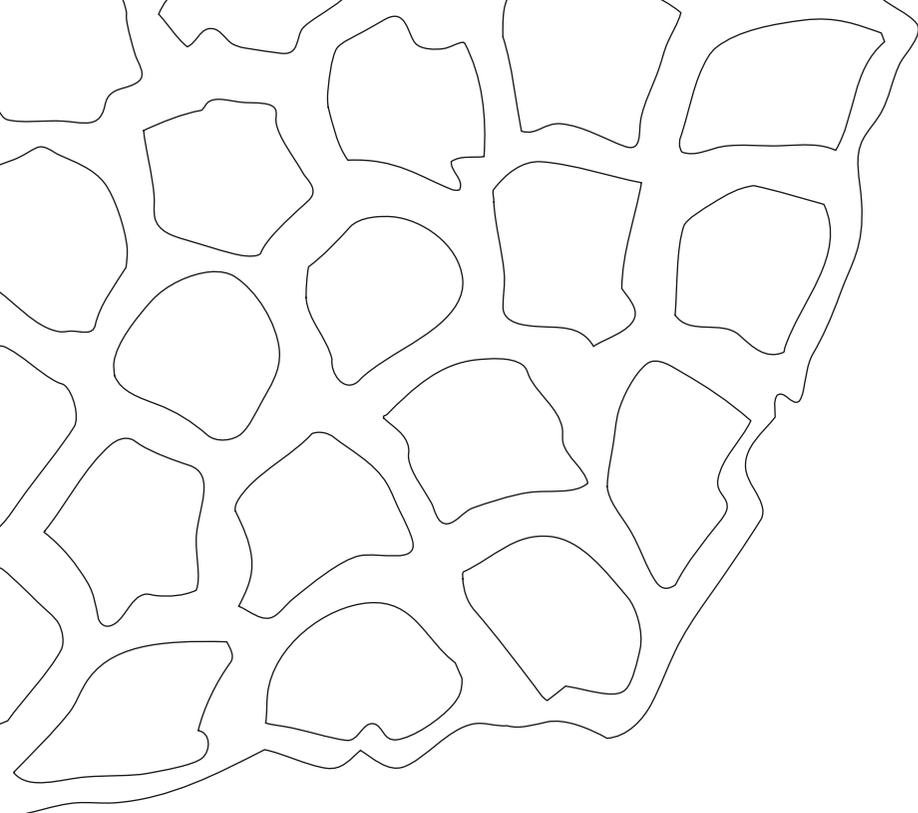
Dr. rer. nat. Günter E. Burkart,
 TU Dresden, ECEMP,
 Marschnerstr. 39, 01307 Dresden
 Geschäftszimmer: 260
 Telefon: +49 (0)351 463 38446
 Fax: +49 (0)351 463 38449
 E-Mail: ecomp@tu-dresden.de



A1

HSMetComp

•
Feine Körnung, fester Werkstoff



Fine grains for strong materials

Innovative materials for lightweight applications should be particularly light, as strong as possible and yet still exhibit good malleability. Scientists participating in the ECEMP subproject „HSMetComp – High Strength Metallic Composites“ are developing high-strength, ultra-fine grained

- **metal wires,**
- **sheet metal and**
- **metal composites.**

Their work sees them make use of the general rule that the finer-grained a material is, the greater its material strength will be. By subjecting metal sheets, tapes and wires to multiple, intense reshaping, they are able to produce high-strength materials which not only offer good ductility and durability, but are also particularly low in weight. This facilitates the manufacture of far lighter structural components. Their fine grain makes materials of this type particularly suitable for the manufacture of miniaturized components.

HSMetComp

High-strength metallic composite materials

A1



Innovative Werkstoffe für den Leichtbau sollten besonders leicht, möglichst fest und trotzdem gut formbar sein. Die Wissenschaftler des ECEMP-Teilprojektes „HSMetComp – High Strength Metallic Composites“ entwickeln hochfeste, ultrafeinkörnige

- Metalldrähte,
- Metallbleche und
- Metallkomposite.

▲
Kalttiegelanlage zur Herstellung nanostrukturierter Legierungen hoher Reinheit.

Hochfeste Metalldrähte

Für die Herstellung von Drähten mit einer Korngröße von 100 bis 200 Nanometern, gehen die Wissenschaftler von Titan/Aluminium-Kompositstangen aus. Durch starke

Hochfeste metallische Kompositwerkstoffe

Umformung der Stangen entstehen Drähte, die bereits eine feinere Körnung als ihr Ausgangsgefüge haben. Die so entstandenen Drähte lassen sich teilen und abermals zu Stangen zusammenfügen. Formt man diese Multifilamentstangen erneut um, führt das zu einem noch feineren Gefüge. Durch mehrmaliges Wiederholen des Vorgangs (accumulative swaging and bundling, ASB) entstehen Multifilamentdrähte mit einer sehr hohen spezifischen Festigkeit bei immer noch guter Verformbarkeit und Zähigkeit. Die Festigkeit der so hergestellten Titan/Aluminium-Drähte ist mit der von reinem Titan beziehungsweise konventionellen Titanlegierungen vergleichbar. Durch ihren entsprechend hohen Aluminiumanteil von fast 40 Prozent sind die Drähte aber deutlich leichter. Dieses von den Wissenschaftlern eigens entwickelte spezielle Verfahren, ermöglicht bei hohen Umformgraden eine besonders homogene Umformung.

A1

Ultrafeinkörnige Metallbleche

Auf ganz ähnliche Weise stellen die Wissenschaftler ultrafeinkörnige Titan/Aluminium-Kompositbleche her. Durch sogenanntes kumulatives Walzen (accumulative roll bonding, ARB) wird bei jedem Walzschritt die Dicke der Blechlaminate auf die Hälfte verringert.

Anschließend werden die Bleche geteilt, aufeinander gestapelt und nochmals gewalzt. Auch diesen Vorgang wiederholen die Forscher, bis die Bleche die gewünschte Körnung und damit eine entsprechend hohe Festigkeit erreicht haben.

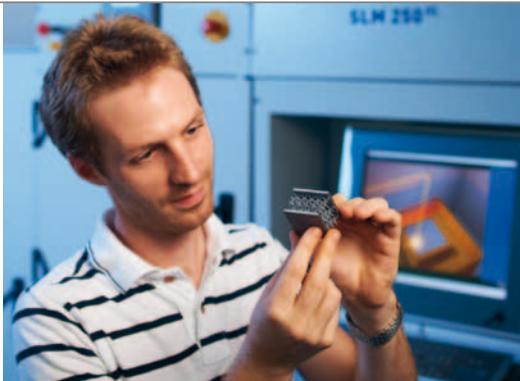
Amorphe Metallkomposite

Nicht nur Umformtechniken führen zu ultrafeinkörnigen Gefügen. Die Herstellung sehr feinkörniger Metallkomposite ist auch direkt aus einer Metallschmelze möglich. So erhalten die Forscher durch spezielle Abkühlprozesse nanokristalline bis amorphe Titanbasislegierungen. Die amorphen Materialien weisen praktisch keine geordnete Kristallstruktur mehr auf. Stellen die Forscher



▲ Mikrodiffraktometer zur Analyse der ultrafeinkörnigen Gefüge.

nanokristalline Materialien her, bestehen diese aus noch feineren Körnern als man sie durch Umformung erreichen kann.



▲ Laserstrahlschmelzanlage zur Herstellung metallischer Bauteile mit amorpher oder nanokristalliner Mikrostruktur.



▲ Rundhämmermaschine zum Herstellen der ultrafeinkörnigen Drähte.

In der Praxis

Für die Anwendung dieser besonders leichten und festen Strukturen ergeben sich mehrere Vorteile: Allein durch die höhere Festigkeit der Werkstoffe können deutlich leichtere Strukturbauteile hergestellt werden. Denn die für ein Bauteil verwendeten Drähte und Bleche können dünner und die Bauteile deshalb kleiner ausfallen. Bereits dieser Fakt trägt zur Ressourcenschonung und Energieeinsparung bei. Werden dann noch leichtere Werkstoffverbunde eingesetzt, ist der Gewinn für den Umweltschutz entsprechend größer. Darüber hinaus eignen sich derartige Werkstoffe durch die sehr feine Körnung besonders gut zur Herstellung miniaturisierter Bauteile.

Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Werner Skrotzki,
TU Dresden, Institut für Strukturphysik,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 35144
E-Mail: werner.skrotzki@physik.tu-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Eckert,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
IFW Dresden

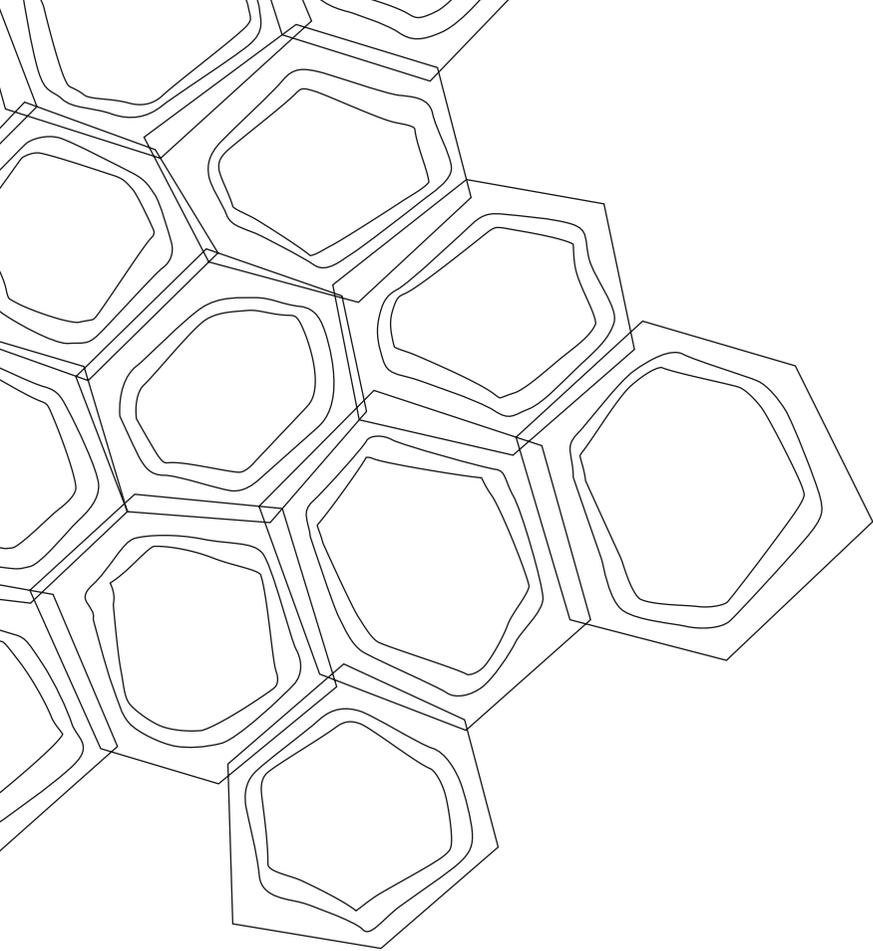
Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Schultz,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
IFW Dresden



A2

MolDiagnostik

Textilien mit Funktion



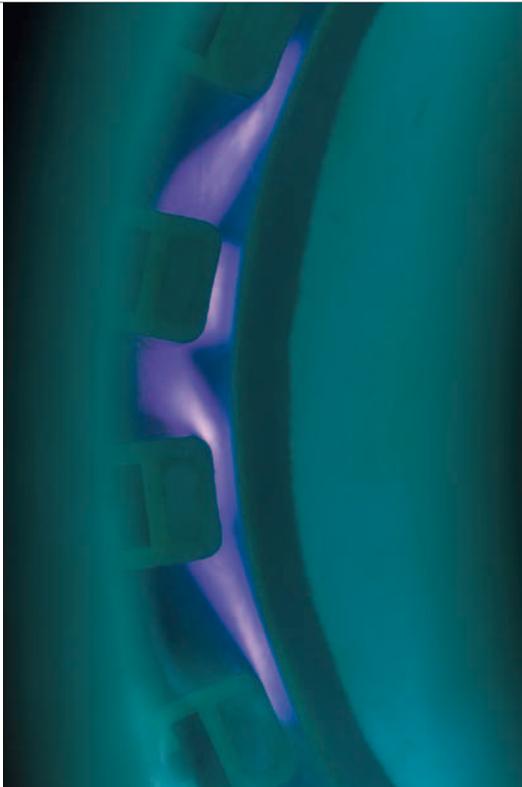
Functionalized textiles

Lightweight, cost-efficient to produce and flexible in terms of processing, textiles are of increasing importance to applications in the mechanical engineering, plant construction and automotive sectors. With textile-reinforced materials already a key element of many lightweight applications, targeted textile functionalization could herald a manifold increase in potential textile applications in the field of lightweight engineering. ECEMP subproject MolDiagnostik sees researchers develop functional

- textiles,
 - fibres and
 - interfaces
- for innovative component diagnostics in lightweight systems. To give an example, participating scientists are equipping textile reinforcement materials with magnetic properties in order to facilitate component diagnosis using non-destructive test procedures, which are often based on magnetic or electrical interaction with the material.

MolDiagnostik

Innovative molecular design for volume-oriented component diagnostics



**Innovatives molekulares
Design für eine
volumenorientierte
Bauteildiagnostik**



▲
Plasmaanlage zur Aktivierung der inerten Textilien.

Die Verwendung von Textilien wird immer wichtiger für Anwendungen im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau. Denn Textilien sind leicht, kostengünstig herzustellen und lassen sich flexibel verarbeiten. So hat zum Beispiel die textile Verstärkung von Materialien besondere Bedeutung für zahlreiche

Leichtbauanwendungen. Gelingt es dann noch, die Textilien mit speziellen Funktionen auszustatten, lassen sich deren Anwendungsmöglichkeiten im Leichtbau um ein Vielfaches steigern.

Im ECEMP-Teilprojekt MolDiagnostik entwickeln die Forscher funktionelle

- Textilien,
- Fasern und
- Grenzflächen,

für eine innovative Bauteildiagnostik im Leichtbau.

Magnetische Eigenschaften

Faserverstärkte Kunststoffe auf Basis organischer Fasern stellen im Vergleich zu vielen anderen Verstärkungsmaterialien eine gute Alternative dar. Die organischen Fasern zeigen sehr gute, anforderungsgerechte mechanische Eigenschaften und lassen sich vielfältig modifizieren. So lassen sich beispielsweise durch physikalische und chemische Verfahren auf den Textil- oder Faseroberflächen Moleküle verankern, die mit Polymeren reagieren. Durch die Wahl des Polymers können dann verschiedene Funktionen eingestellt werden.

Gerade bei Hochleistungsanwendungen steht die Sicherheit im Vordergrund. Daher ist eine regelmäßige Schadenskontrolle der Bauteile durch zerstörungsfreie Prüfverfahren notwendig. Da viele dieser Verfahren auf einer mag-



▲ *Herstellung der Polymere. Diese werden anschließend als funktionelle Schicht auf dem Textil verankert.*

netischen oder elektrischen Wechselwirkung mit dem Material beruhen, ist die Anwendung derartiger Verfahren bei Verwendung von elektrisch isolierenden Fasern nicht möglich. Daher statten die Wissenschaftler ihre textilen Verstärkungsmaterialien mit magnetischen Eigenschaften aus. Zur Generierung der Eigenschaften dienen Magnetit-Nanopartikel. Damit die Partikel auf der Faseroberfläche haften, modifizieren die Wissenschaftler deren Ober-

flächen chemisch so, dass Partikel und Faser miteinander reagieren können. Dabei sollen sich die Nanopartikel fein dispergiert und gerichtet auf den Fasern abscheiden. Auch die Art der magnetischen Eigenschaften können die Wissenschaftler beeinflussen (ferrimagnetisch, ferromagnetisch, superparamagnetisch), diese hängen von der Funktionalisierung der Partikel ab.



▲
Kombiniertes Tieftemperatur-Atomkraft- und Rastertunnelmikroskop.

Molekulares Design

Um neue und optimal funktionalisierte Materialien zu entwickeln, ist es besonders wichtig, das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Polymer und Ankergruppe und der mechanischen und elektronischen Eigenschaften der aktiven Gruppen der Polymere zu vertiefen. Zur Entwicklung intelligenter Textilien auf der molekularen Ebene steht den Forschern daher ein kombiniertes Tieftemperatur-Atomkraft- und Rastertunnelmikroskop zur Verfügung. Mit dem Mikroskop lassen sich

einzelne Moleküle manipulieren und so die Bindungsstabilität zwischen den verankerten Gruppen und den Polymeren bestimmen. Mit Hilfe der Methoden der molekularen Manipulation wird es möglich, ein Molekül nach dem anderen präzise zu positionieren und ein intelligentes Design zu entwickeln, das anschließend durch molekulares Self-Assembly von Polymeren auf der makroskopischen Skala angewendet werden kann. So können die Forscher schon im Kleinen testen, was später auf die Fläche kommt.

Projektleiter

Prof. Dr. Gianaurelio Cuniberti,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 31420
E-Mail: office@nano.tu-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Wirt. Ing. Chokri Cherif,
TU Dresden, Institut für Textilmaschinen und
Textile Hochleistungswerkstofftechnik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jens-Uwe Sommer,
TU Dresden, Institut für Theoretische Physik,
Leibniz-Institut für Polymerforschung
Dresden e. V.

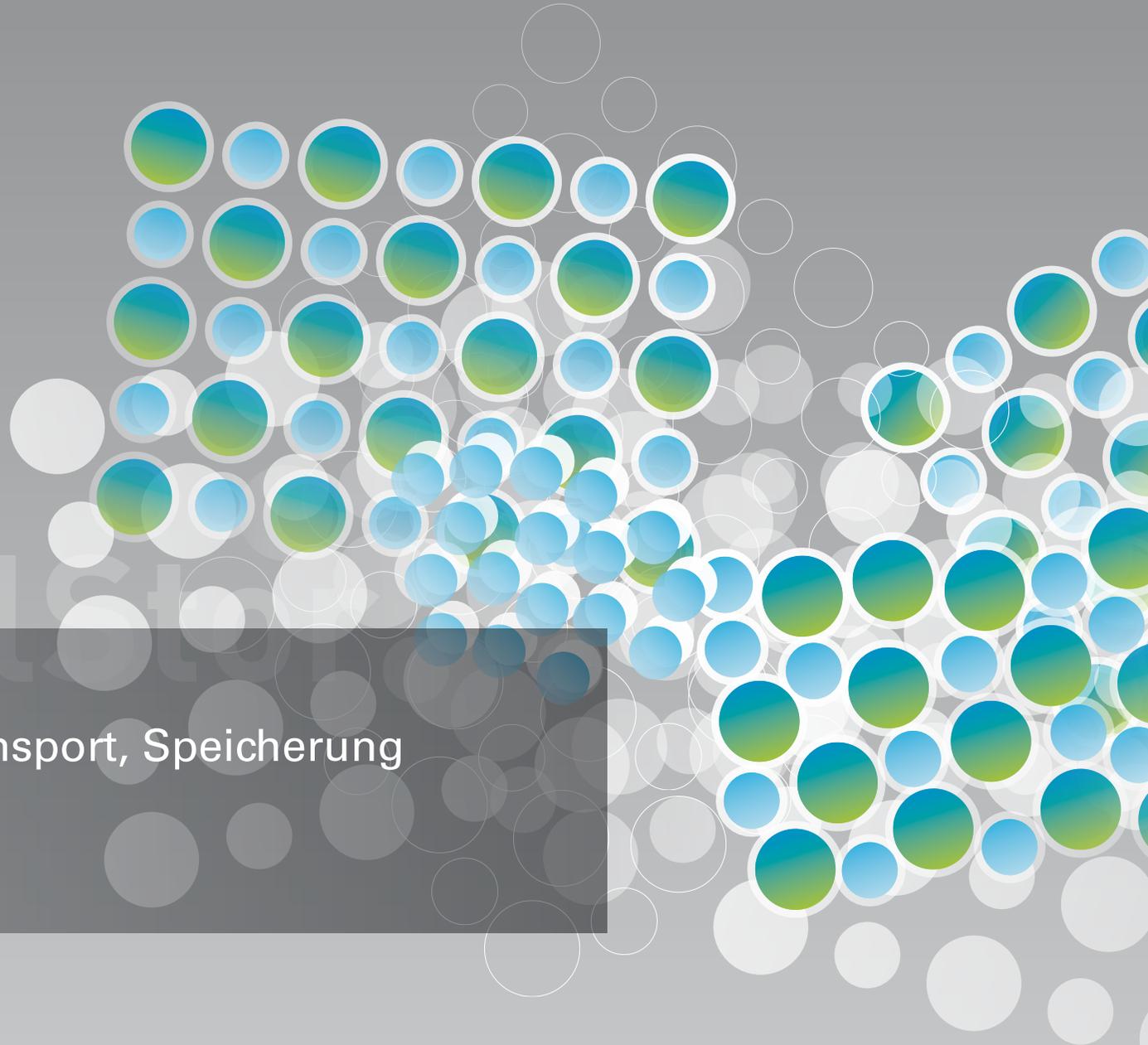
Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Voit,
TU Dresden, Fachrichtung Chemie und
Lebensmittelchemie, Professur für
Organische Chemie der Polymere,
Leibniz-Institut für Polymerforschung
Dresden e. V.

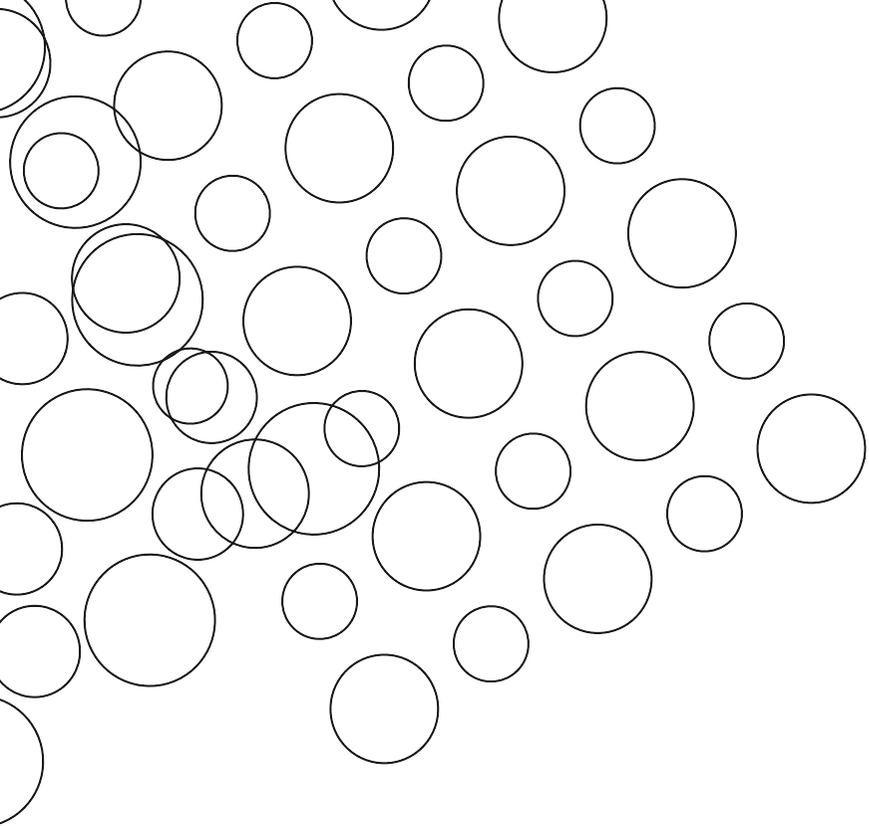
B1



MobilStor

Energie: Wandlung, Transport, Speicherung





Energy: conversion, transport, storage

The finite nature of fossil fuels and the consequences of the greenhouse effect underline the importance of reducing our dependence on energy sources of this type. The availability of efficient energy storage is nevertheless imperative if renewable energies are to become more established. Where the substitution of conventional motor vehicle fuels is concerned, a suitable solution is the use of electric motors provided with energy by hydrogen-based storage devices or appropriate battery systems. Scientists involved in the ECEMP subproject MobilStor are researching new materials for

- hydrogen storage devices and
- lithium-ion batteries.

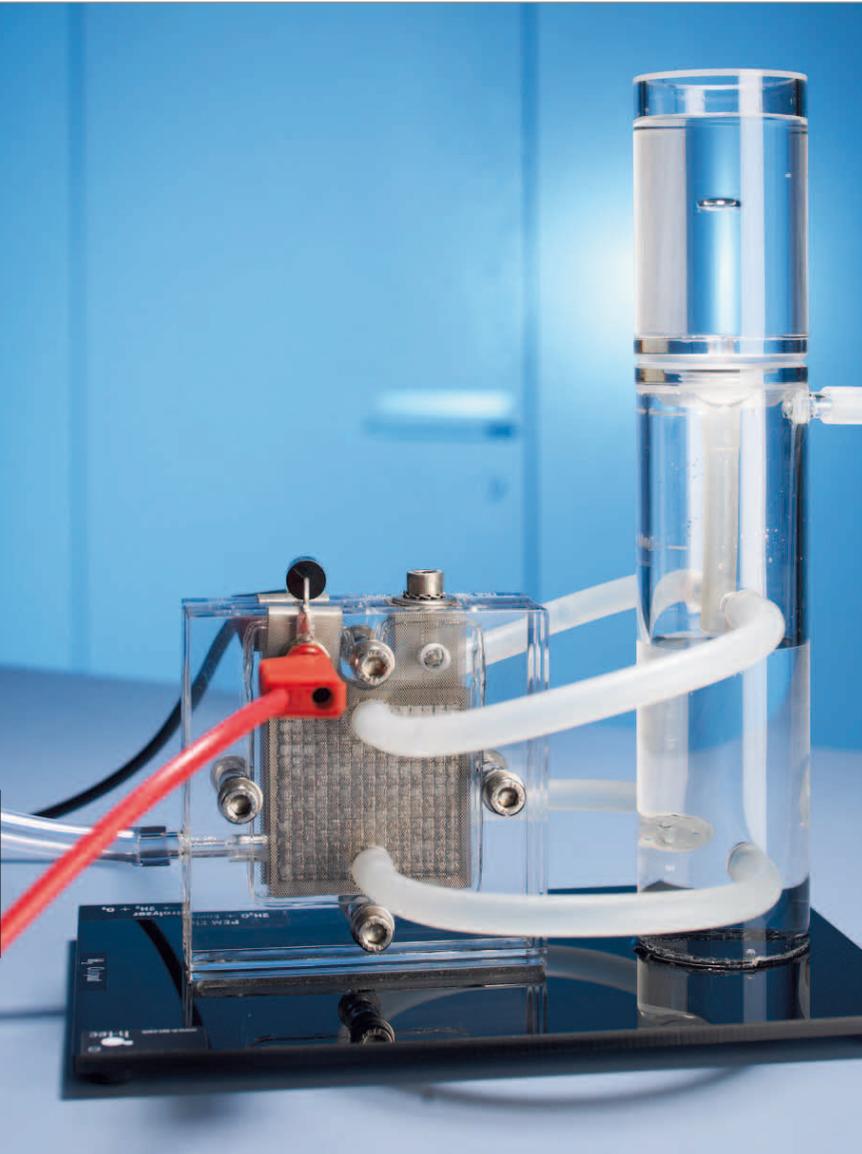
Their aim is to develop storage options with high energy and performance densities. One area of research is lithium-aluminium-borohydride, which contains 17 per cent hydrogen by weight and releases it at temperatures of around 70 degrees centigrade. This is a good basis for a hydrogen storage device. In the case of anode materials for lithiumion batteries, researchers are studying amorphous aluminium alloys and the integration of lithium into clathrates. The latter approach uses existing voids in the clathrates to store lithium.

MobilStor

Solid-state hydrogen storage and metallic anodes for energy storage applications in mobile and stationary environments

B1





▲
Elektrolysezelle für die Wasserstoffherstellung.

Wasserstofffestkörperspeicher und metallische Anoden für Energiedepotanwendungen im mobilen und stationären Umfeld

Die Endlichkeit fossiler Brennstoffe und die Folgen des verstärkten Treibhauseffektes machen deutlich, wie wichtig es ist, unsere Abhängigkeit von diesen Energieträgern zu reduzieren. Für die Nutzung erneuerbarer Energien allerdings ist eine effiziente Energiespeicherung unerlässlich. Möchte man beispielsweise konventionelle Treibstoffe für Kraftfahrzeuge ersetzen, bieten sich Elektromotoren als Antrieb an, die aus Speichern auf Basis von Wasserstoff oder aus geeigneten Batteriesystemen mit Energie versorgt werden.

Die Wissenschaftler des ECEMP-Teilprojektes MobilStor erforschen neue Materialien für

- Wasserstoffspeicher und
- Lithiumionen-Batterien.

Ihr Ziel ist es, Speichermöglichkeiten mit hohen Energie- und Leistungsdichten zu entwickeln. Die Speicher sollten also bei möglichst großem „Fassungsvermögen“ möglichst klein

und leicht sein und gleichzeitig schnell große Energiemengen bereitstellen können.

Kleine, leichte „Wasserstofftanks“

Am einfachsten ließe sich Wasserstoff in Form des komprimierten Gases speichern. Allerdings wäre die mit einem vertretbaren Energieaufwand erreichbare volumenbezogene Speicherdichte zu gering, um mit Elektrofahrzeugen Reichweiten zu erzielen, die von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bekannt sind. Eine deutlich höhere Speicherdichte lässt sich mit Festkörperspeichern realisieren, in denen Wasserstoff chemisch gebunden wird. Als vielversprechende Materialien dafür untersuchen die Forscher Kompleverbindungen wie Lithium-Aluminium-Borhydrid. Die Substanz enthält 17 Gewichtsprozent Wasserstoff und gibt diesen bei Temperaturen

um 70 Grad Celsius wieder ab. Damit erfüllt dieses Doppelkation-Komplexhydrid bereits zwei wesentliche Voraussetzungen für den Einsatz als Wasserstoffspeichermedium im Tank eines Elektrofahrzeugs: Eine hohe Speicherdichte und eine für die Kombination des Speichers mit einer Brennstoffzelle geeignete Freisetzungstemperatur.

Die Reversibilität der Wasserstoffspeicherung im Komplexhydrid ist derzeit ein wichtiges Optimierungskriterium bei der praxisnahen Untersuchung. Denn die Stabilität des Speichermaterials muss über viele Aufnahmebeziehungsweise Abgabezyklen gewährleistet sein, wenn es in verschlossenen Tanks zum Einsatz kommen soll.

B1

Neue Batteriematerialien

Auch Lithiumionen-Batterien eignen sich prinzipiell für den Einsatz als Energiespeicher in Elektrofahrzeugen. Sie besitzen derzeit die höchsten volumen- und massebezogenen Energiespeicherdichten aller bekannten Akkusysteme. Dennoch haben die üblicherweise verwendeten Graphit-Anoden eine zu geringe Kapazität für die Erzielung hoher Reichweiten



▲ Röntgengerät zur Materialbestimmung mit Justierung einer luftdicht verschlossenen Probe.

derartiger Fahrzeuge. Um die Elektrodenkapazität zu steigern, untersuchen die Wissenschaftler Legierungen auf Aluminiumbasis als Anodenmaterial. Mit diesen könnten Kapazitäten erreicht werden, die diejenige von Graphit um das Zweieinhalbfache übersteigen.

Der Ein- und Ausbau des Lithiums während des Ladens und Entladens der Batterie geht bei kristallinen Elektroden auf Basis von Aluminium jedoch mit einer großen Volumenänderung einher, da sich das eingebaute Lithium Platz in der Kristallstruktur schafft. Dies hat gewöhnlich eine hohe mechanische Beanspruchung der Elektrode zur Folge.



▲
Handschuhbox mit Argonatmosphäre zur Untersuchung und Bearbeitung von Proben unter Sauerstoffausschluss.

Daher verwenden die Forscher amorphe Aluminiumlegierungen, also solche, die keine geordnete Kristallstruktur besitzen. Hier könnte sich Lithium in die Lücken einlagern, die durch die ungeordnete Struktur bereits vorhanden sind. Mit dem gleichen Grundgedanken der Erhöhung der mechanischen Stabilität einer

Batterie untersuchen die Forscher auch den Lithiumeinbau in Clathrate, einer Familie intermetallischer Verbindungen auf Silizium- oder Germaniumbasis. Deren Kristallstrukturen besitzen bereits große Hohlräume, in die sich Gastatome nahezu ohne Volumenzunahme des Materials einlagern lassen.

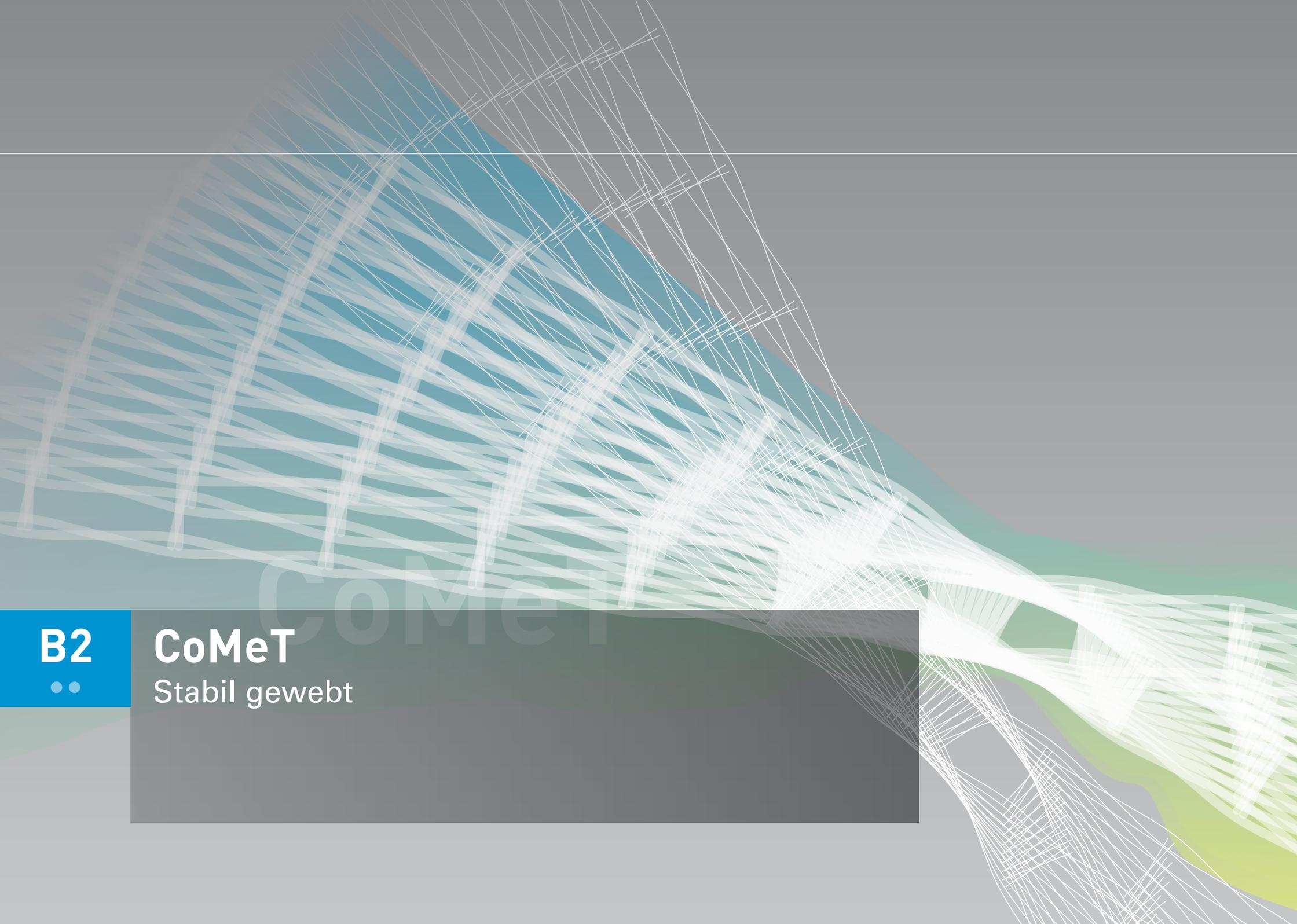
Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Schultz,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
01062 Dresden,
IFW Dresden,
Helmholtzstr. 20, 01069 Dresden
Telefon: +49 (0)351 4659 100
E-Mail: l.schultz@ifw-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Eckert,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
IFW Dresden

Prof. Juri Grin,
TU Dresden, Fachrichtung Chemie und
Lebensmittelchemie,
Professur für Chemische Metallkunde,
Max-Planck-Institut für Chemische Physik
fester Stoffe

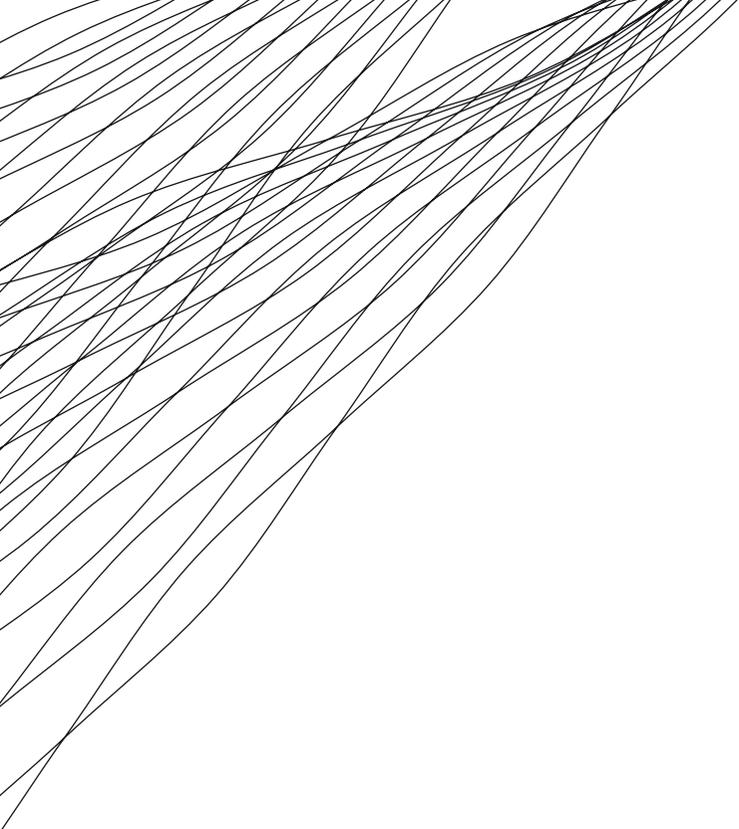


B2



CoMeT

Stabil gewebt



Woven stability

The rising price of energy and raw materials and need for cost-effective, environmentally friendly products are accompanied by an ever-increasing demand for lightweight solutions. With material requirements also becoming more complex, it is not simply a case of replacing conventional materials with lighter alternatives. It is instead vital that innovative, adaptable, flexible solutions are identified. Scientists participating in the ECEMP subproject CoMeT are developing semi-finished products with three-dimensional wire structures for use in

- crash components and
- reinforcement textiles.

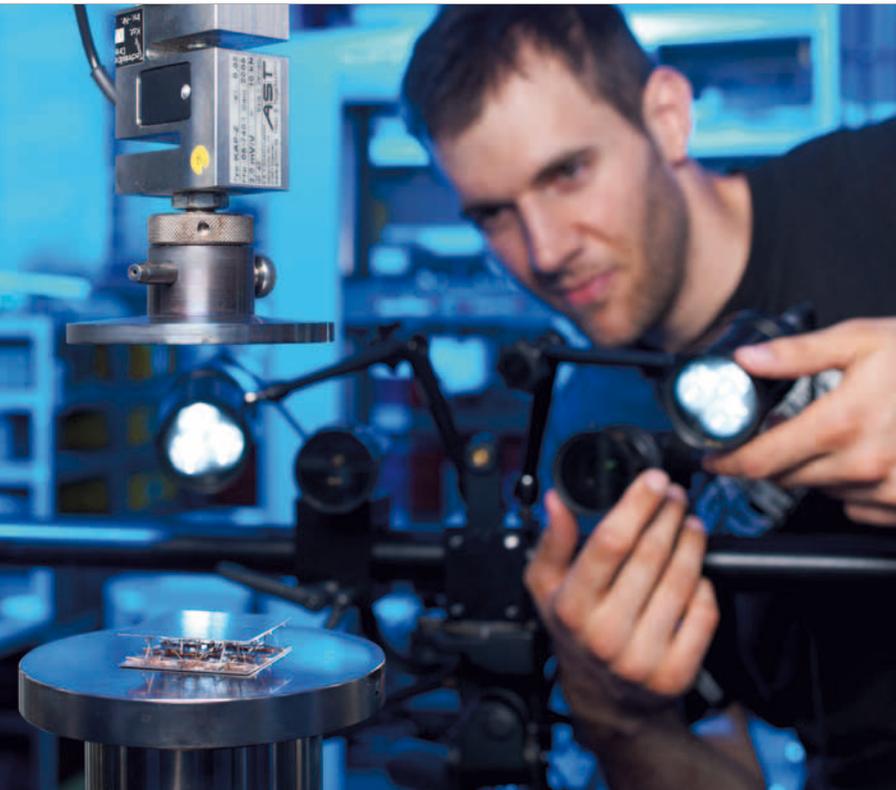
In the case of wire structures designed for use as reinforcement textiles, researchers embed the structures into a metal or plastic matrix. When soldered between metal panels to form sandwich composites they deliver the strength required of crash elements. Crash tests on polymer matrix composites have shown this approach to facilitate an increase in energy absorption capacity of up to 600 per cent in comparison with unreinforced samples.

CoMeT

Composite materials for hybrid lightweight engineering based on woven metallic semi-finished products

B2





Steigende Energie- und Rohstoffpreise und die Nachfrage nach kosteneffizienten, umweltfreundlichen Produkten haben einen stetig steigenden Bedarf an Leichtbaulösungen zur Folge. Da die Materialansprüche gleichzeitig immer komplexer werden, reicht es nicht, herkömmliche Materialien einfach durch leichtere zu ersetzen. Denn diese erfüllen zwar die wesentliche Voraussetzung Gewichtsersparnis, bringen in der Regel aber andere Nachteile mit sich. Aluminium beispielsweise ist leicht, aber auch weich und hat eine geringe mechanische Festigkeit. Beimengungen von Magnesium machen es

zwar fest, aber gleichzeitig spröde. Hier gilt es, innovative, anpassungsfähige und flexible Lösungen zu finden.

Die Wissenschaftler des ECEMP-Teilprojektes CoMeT entwickeln Halbzeuge, bei denen dreidimensionale Drahtstrukturen als

- Crashelemente und
- Verstärkungstextilien

dienen. Sollen die Drahtstrukturen als Verstärkungstextilien genutzt werden, betten die Forscher sie in eine Matrix aus Metall oder Kunststoff. Zwischen Metallbleche gelötet sorgen sie im Sandwichverbund als Crashelemente für die nötige Festigkeit.

▲
Mechanische
Charakterisierung der
3D-Drahtstrukturen.

Verbundwerkstoffe für den Hybrid-Leichtbau auf Basis gewebter metallischer Halbzeuge

Weben und fixieren

Zwar gelingt das Verweben metallischer Drähte zu zweidimensionalen Strukturen relativ unproblematisch, doch die Ausbildung dreidimensionaler Gewebe, wie zum Beispiel Pol- (Teppich) oder Abstandsgewebe,

ist derzeit nur auf Spezialwebmaschinen mit textilen, also biegeweichen Fadenmaterialien möglich. Zur Herstellung der hochkomplexen Drahtstrukturen haben die Forscher daher eine vom textilen Webprozess abgeleitete

Fertigungstechnologie konzipiert. Dafür verformen sie den Draht, bevor sie ihn verweben. Die fertigen Gewebe werden dann durch einen speziellen Wärmebehandlungsprozess gehärtet.

Nach dem Weben sind die Drähte zueinander verschiebbar und die nötige Steifigkeit ist noch nicht gegeben. Ein von den Wissenschaftlern entwickeltes Lötverfahren stellt sicher, dass jeder Knotenpunkt in dem Gewebe fixiert wird. Dafür wenden die Forscher galvanische und chemische Metallabscheidungsverfahren an. So erhöht sich die Stabilität und Steifigkeit deutlich. Zudem können die Forscher auf diese Weise auch Sandwichverbunde herstellen, indem sie die Drahtgewebe zwischen zwei Deckbleche löten.

B2

Keine Chance für Lufteinschlüsse

Bei herkömmlichen Prozessen zur Herstellung von Gussbauteilen entstehen häufig Lufteinschlüsse in der Schmelze. Dieser Effekt wird durch das Einbringen der Drahtgewebe noch verstärkt, da sich die Schmelze so nicht gleich-



▲ Lötöfen zum Fixieren der Drähte in der Struktur und zur Herstellung der Sandwichverbunde.

mäßig verteilen kann. Ein neues, von den Wissenschaftlern angewendetes Gasdruckinfiltrationsverfahren verhindert dies. Dabei setzen sie die Form unter Vakuum und bringen die Schmelze unter Druck ein. Dieser Vorgang erlaubt auch die Fertigung komplizierter Gussformen mit besonders dünnen Wandstärken.

Effektiv versteift

Crashversuche von Polymermatrix-Verbunden haben gezeigt, dass sich das Energieabsorptionsvermögen von Verbundwerkstoffen durch den Einsatz von Drahtgeweben als Verstärkungsstruktur um bis zu 600 Prozent



▲
Zum Verweben von Drähten wird die Webmaschine speziell angepasst. So ist eine vollautomatische Herstellung der 3D-Drahtstrukturen möglich.

im Vergleich zu unverstärkten Proben steigern lässt. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen das hohe Potential der entwickelten Halbzeuge zur Schaffung neuer Möglichkeiten für den ingenieurmäßigen Leichtbau im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau.

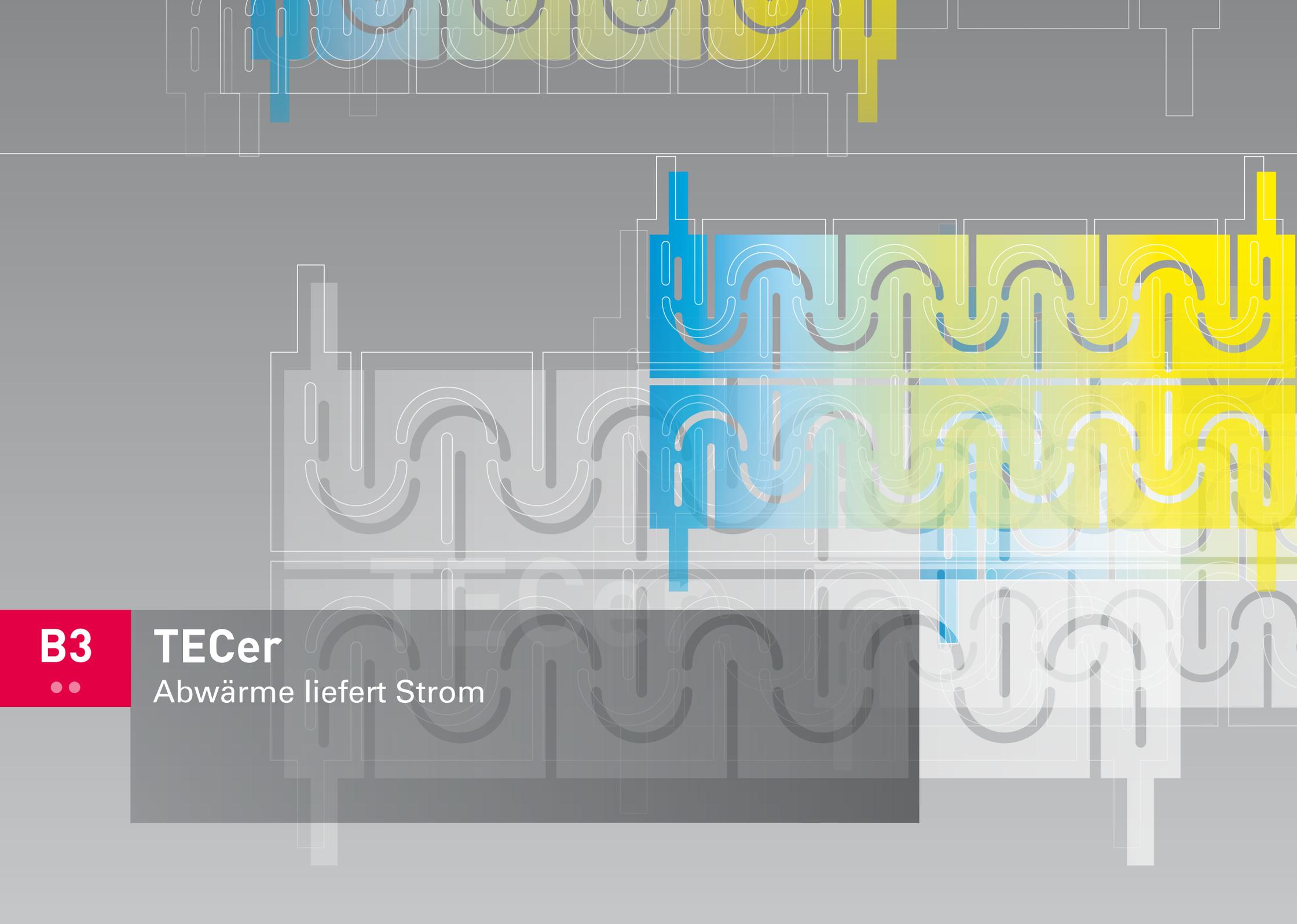
Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Wirt. Ing. Chokri Cherif,
TU Dresden, Institut für Textilmaschinen und
Textile Hochleistungswerkstofftechnik,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 39300
E-Mail: chokri.cherif@tu-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
Werner A. Hufenbach,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

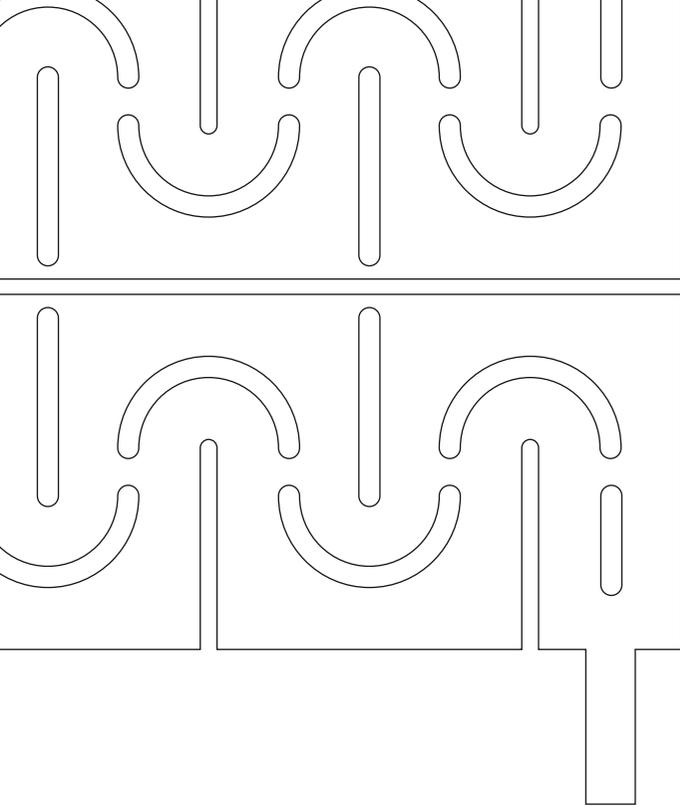
Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
Fraunhofer IFAM Dresden



B3

TECer

Abwärme liefert Strom



Turning waste heat into electricity

Even the most efficient of machines cannot operate without losing heat. Whether during industrial processes, the operation of a motor vehicle or at power stations, waste heat is always generated. To give an example, only a third of the primary energy contained in gas, oil and coal is actually used productively, with the rest escaping unused into the environment. In times of diminishing resources this is an untenable situation. Set against this backdrop, the scientists involved in the ECEMP subproject TECer are developing novel ceramic thermoelectric generators (TEG).

These generators are

- cost-effective,
- usable at up to 800 °C and
- environmentally sound.

The scientists use ceramic materials based on boron carbide (p-conductive material) and titanium suboxide (n-conductive material). The targeted modification of their molecular design results in impurities and grain boundaries which impede heat transfer whilst ensuring that electrical conductivity remains high. Temperature difference is therefore maintained and electricity can flow unimpeded – a fundamental prerequisite for TEG.

TECer

Integration of ceramic multi-components materials into cost-effective, optimized thermoelectric systems

B3





▲
Prüfstand mit TEG: Demonstrator am Abgassystem eines Motors.

In industriellen Prozessen, im Fahrzeugbetrieb, in Kraftwerken, überall entsteht Wärme, denn selbst die effizienteste Maschine arbeitet nicht verlustfrei. So wird nur etwa ein Drittel der in Gas, Öl und Kohle enthaltenen Primärenergie gewinnbringend umgesetzt, der Rest entweicht ungenutzt in die Umwelt. In Zeiten knapper Ressourcen eigentlich untragbar.

Die Wissenschaftler des ECEMP-Teilprojektes TECer entwickeln neuartige keramische thermoelektrische Generatoren (TEG). Die Generatoren sind:

- kostengünstig,
- bis 800 °C einsetzbar und
- ökologisch unbedenklich.

Integration keramischer Mehrkomponentenwerkstoffe in kostengünstige und optimierte thermoelektrische Systeme

Neuartige thermoelektrische Generatoren

Die hohe thermische Stabilität der Keramikmaterialien ermöglicht ihren Einsatz in einem weiten Temperaturbereich. Damit stellen sie eine attraktive Alternative zu den häufig verwendeten Halbleitermaterialien dar. Zudem lässt sich durch den Einsatz der TEG im Hochtemperaturbereich ihr Wirkungsgrad deutlich steigern, denn das Funktionsprinzip der Generatoren beruht auf einer Temperaturdifferenz: Am heißen Ende eines Bauteils besitzen die Elektronen eine höhere Energie als am kalten Ende. Dadurch baut sich eine Spannung auf, die umso größer ist, je höher die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Enden des Bauteils ist.

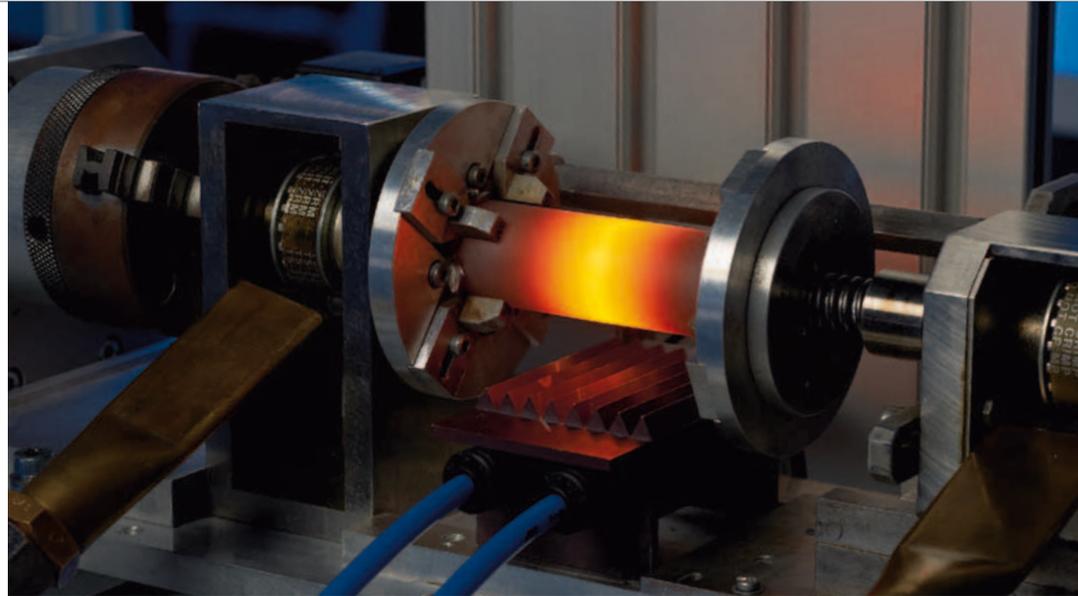
B3





▲ Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Borcarbidstruktur mit Korngrenze (HRTEM-Bild).

Damit kein Temperatenausgleich stattfindet, die Temperaturdifferenz also erhalten bleibt, müssen die Materialien eine niedrige Wärmeleitfähigkeit haben. Andererseits sollte die elektrische Leitfähigkeit möglichst hoch sein, damit der Strom ungehindert fließen kann. Ein Paradoxon, denn in der Regel sind diese beiden Eigenschaften miteinander gekoppelt, da die freien Ladungsträger in einem Material sowohl für den Strom- als auch für den Wärmetransport sorgen.

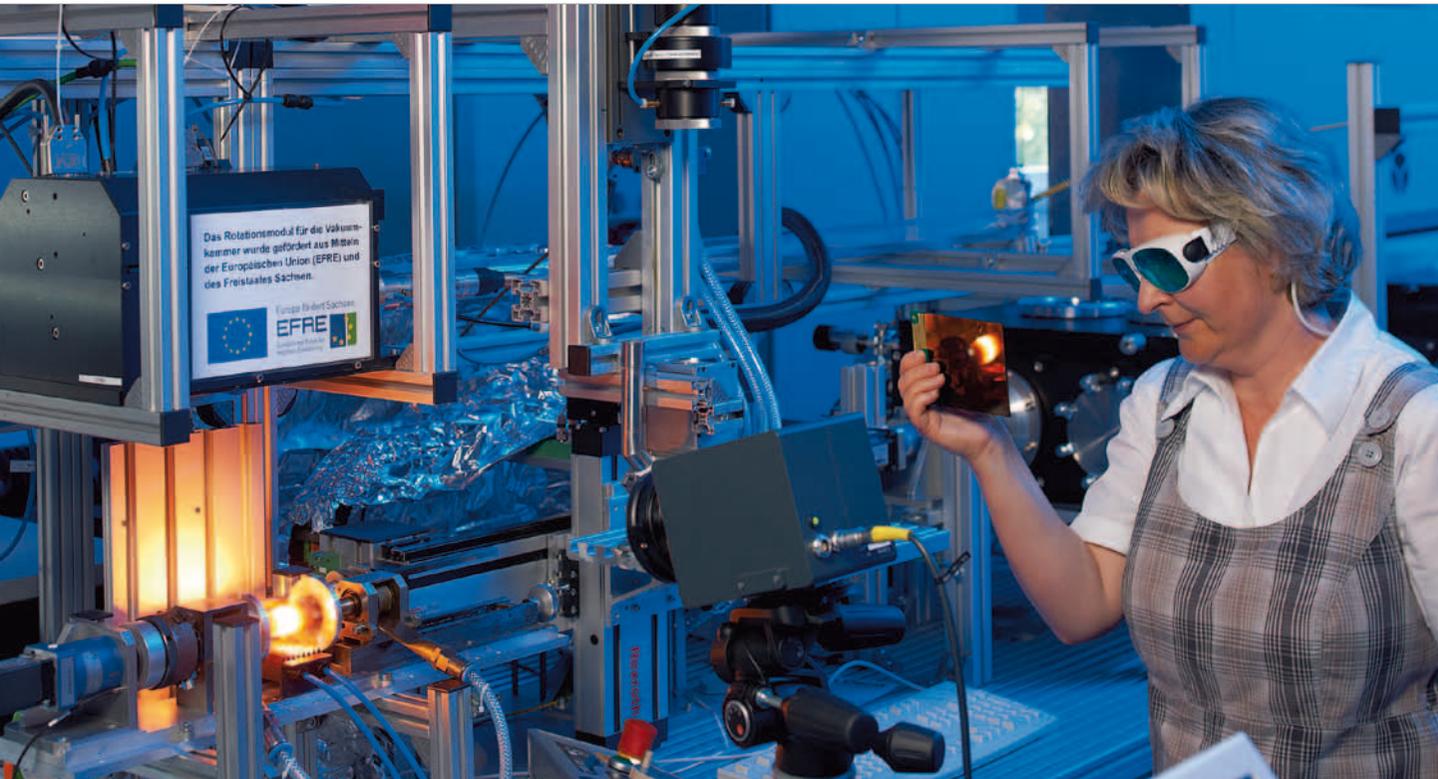


▲ Laserlötprozess.

Entkopplung von thermischer und elektrischer Leitfähigkeit

Der Ansatz der Wissenschaftler sind eigens entwickelte Keramikwerkstoffe auf Basis von Borcarbid, als p-leitendes und Titansuboxid als n-leitendes Material. Durch spezielle Pulver- und Sintertechnologien und eine gezielte Beeinflussung des molekularen Designs, entstehen Störstellen und Korngrenzen, die den Wärmetransport behindern, während die elektrische Leitfähigkeit unverändert hoch bleibt.

Für die gezielte Entkopplung von thermischer und elektrischer Leitfähigkeit ist die Kenntnis wichtiger Strukturdetails für die Wissenschaftler Voraussetzung und Werkzeug bei der Optimierung der Materialien. In einem Speziallabor für Transmissionselektronenmikroskopie untersuchen sie die nanoskaligen bis atomaren Strukturen und erhalten so Aussagen über Kristallstruktur, Korngrenzenaufbau und Werkstoffzusammensetzung der im Projekt entwickelten thermoelektrischen Werkstoffe.



▲
Laserlötprozess. Hier werden die Thermo-elektrischen Generatoren unter Verwendung eines Glaslotes komplettiert.

Für die Komplettierung der TEG aus den p- und n-leitenden Thermopaaren, den elektrischen Kontakten und den Substratplatten zur Ankopplung an den Wärmetauscher, haben die Forscher ein Laserlötverfahren entwickelt, das die Prozessdauer auf nur wenige Sekunden verkürzt. Die neuen Materialien, das spezielle Design der TEG und die gleichzeitig durchgeführten Simulationsrechnungen ermöglichen es, die keramischen Thermo-

generatoren in einem breiten Temperaturbereich von 200 bis etwa 800 Grad Celsius einzusetzen. Dies soll der Ausgangspunkt für neue Anwendungsgebiete werden – von der Nutzbarmachung der Abwärme im Automobil oder der Restwärme in Kraftwerken bis zur direkten Verstromung von Hochtemperaturwärme aus Industrieprozessen.

Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Alexander Michaelis,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
01062 Dresden,
Fraunhofer IKTS Dresden,
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden
Telefon: +49 (0)351 2553 7512
E-Mail: alexander.michaelis@ikts.
fraunhofer.de

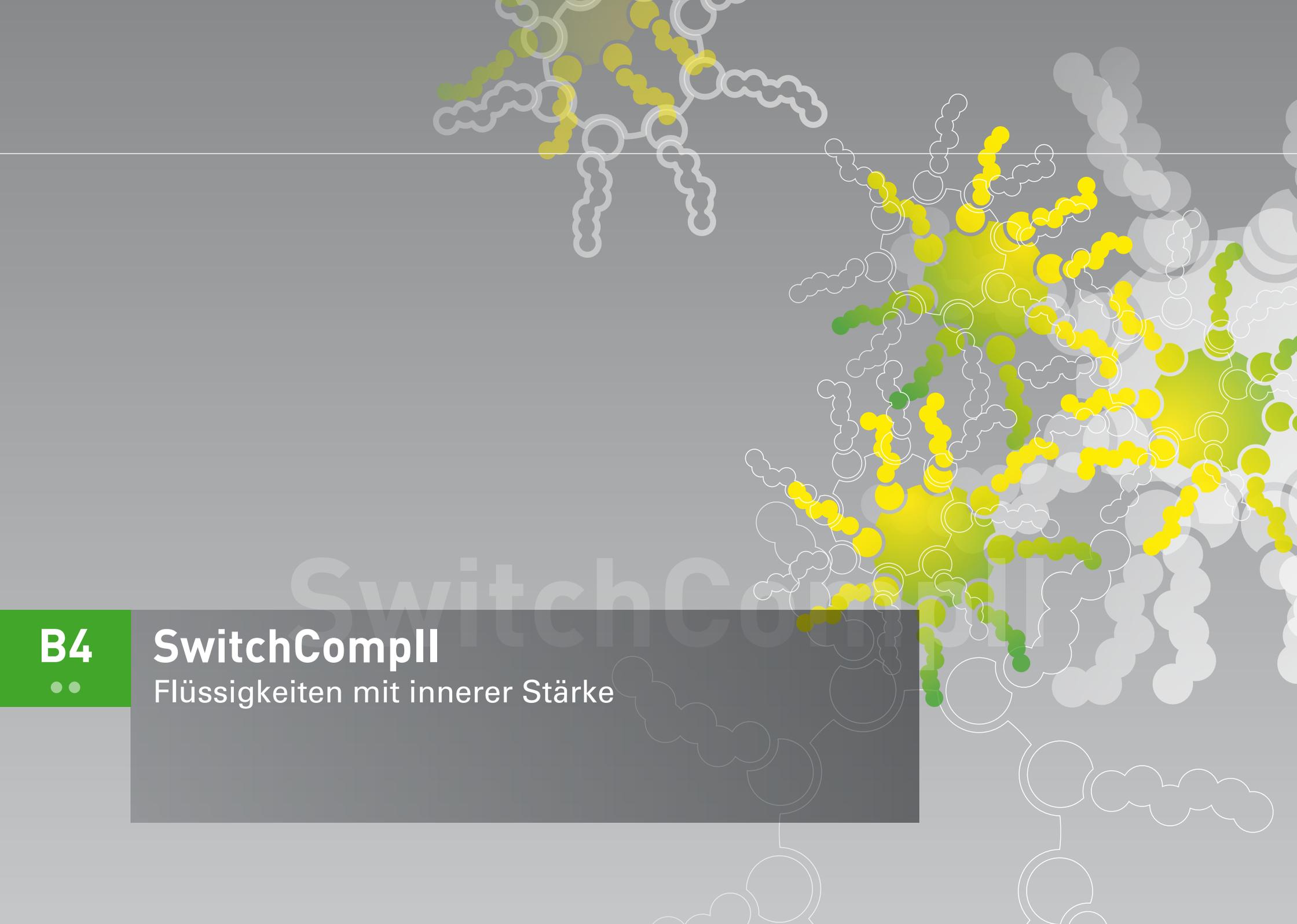
Projektpartner

Prof. Juri Grin,
TU Dresden, Fachrichtung Chemie und
Lebensmittelchemie,
Professur für Chemische Metallkunde,
Max-Planck-Institut für Chemische Physik
fester Stoffe

Prof. Dr.-Ing. habil. Antonio Hurtado,
TU Dresden, Institut für Energietechnik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Hannes Lichte,
TU Dresden, Institut für Strukturphysik

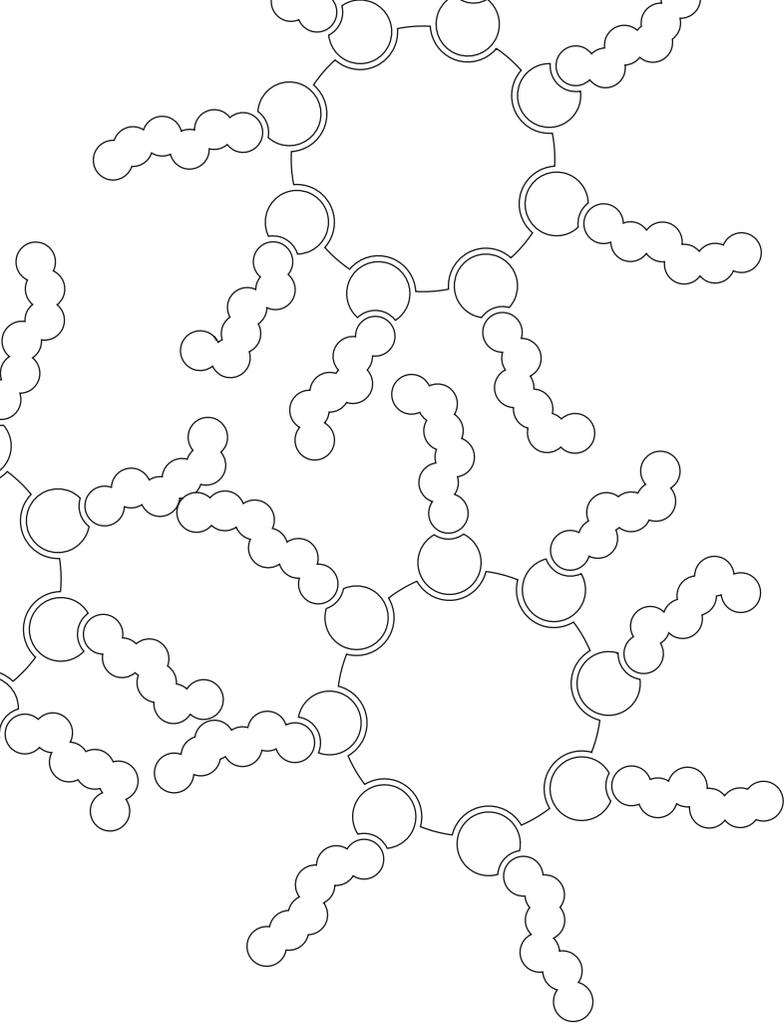
Prof. Dr.-Ing. Gennadi Zikoridse,
HTW Dresden,
Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik



B4

SwitchCompII

Flüssigkeiten mit innerer Stärke



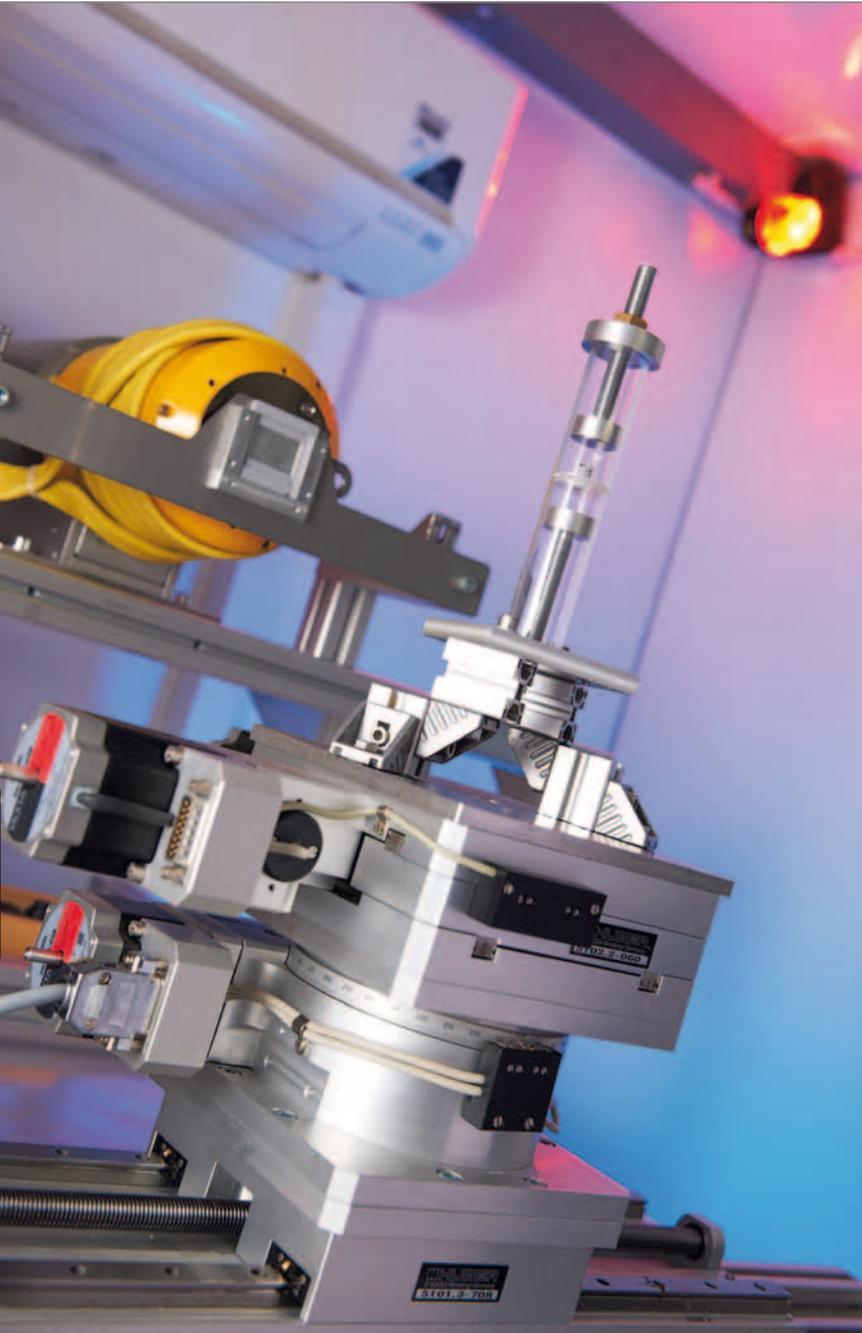
Liquids with internal strength

A muscle can change its tension in a fraction of a second – but what about a liquid? Magnetorheological fluids (MR fluids) mimic the flexible characteristics of a muscle, and consist of magnetic microparticles suspended in a carrier fluid. When exposed to a magnetic field the fluid changes its viscosity – immediately and without intermediate steps. Even weak magnetic fields can have significant effects on the fluid. Using MR fluids and magnetic particles as their basis, the scientists participating in the ECEMP subproject SwitchCompII are developing

- magnetorheological multi-component materials and
- magnetorheological elastomers with switchable strength and damping properties for lightweight applications. One such application is the damping of dynamic vibration in motor and machine supports with the aid of adaptable composites. The new materials are also particularly suitable for targeted vibration damping in precision instruments.

SwitchCompII

Novel materials with magnetically switchable properties – the manufacturing, characterization, modelling and application of magnetic multi-component materials



Neuartige Materialien mit magnetisch schaltbaren Eigenschaften – Herstellung, Charakterisierung, Modellierung und Anwendung magnetischer Mehrkomponentenwerkstoffe

Ein Muskel kann in Sekundenbruchteilen seine Spannung ändern. Aber eine Flüssigkeit? Es wäre doch ziemlich überraschend, wenn sich plötzlich das Bier im Glas festhalten würde. Magnetorheologische Flüssigkeiten (MR-Fluide) haben genau diesen flexiblen Charakter. Sie bestehen aus magnetischen Mikropartikeln suspendiert in einer Trägerflüssigkeit. Setzt man diese Flüssigkeiten einem Magnetfeld aus, ändert sich ihre Viskosität – stufenlos und von einem Augenblick zum anderen.

Die Partikel in der Flüssigkeit werden durch das von außen angelegte Magnetfeld magnetisiert und ordnen sich zu Strukturen parallel zur Magnetfeldrichtung an. Dadurch haben sowohl Stärke als auch Richtung des Magnetfeldes Einfluss auf die Viskosität des Fluids. Die Wechselwirkung zwischen dem Fluid

und dem Magnetfeld ist dabei so groß, dass schon bei geringen Feldstärken sehr große Effekte in der Flüssigkeit erzeugt werden. Die Wissenschaftler im ECEMP-Teilprojekt Switch-CompII entwickeln auf Basis von MR-Fluiden und magnetischen Partikeln

- magnetorheologische Mehrkomponentenwerkstoffe und
- magnetorheologische Elastomere mit schaltbaren Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften für Leichtbauanwendungen.

Magnetisch schaltbare Werkstoffe

Zur Fertigung der magnetorheologischen Mehrkomponentenwerkstoffe (MKW) kombinieren die Forscher MR-Fluide mit einer Polyurethanmatrix, in dem sie die Hohlräume im Polyurethan mit MR-Fluiden füllen.

◀ *Mikro-CT mit neu konzipiertem Probenhalter für magnetfeldabhängige Röntgentomographie.*

Zur Herstellung der magnetorheologischen Elastomere (MRE) mischen die Wissenschaftler magnetisierbare Partikel direkt in Elastomere ein. Der für die neuen Werkstoffe zu erzielende Effekt ist unter anderem von der Ausgangsteifigkeit der Matrix, dem Partikelgehalt sowie der Art und Orientierung der Partikel abhängig. So können die Wissenschaftler anisotrope, also in bestimmte Raumrichtungen gerichtete Eigenschaftsänderungen, oder isotrope gleichmäßig über den gesamten Werkstoff verlaufende Änderungen einstellen. Dies steuern sie, indem sie die Anordnung der Hohlräume in der Polyurethanmatrix respektive die Partikelverteilung im Elastomer gezielt beeinflussen.

Zug/Druck-Prüfmaschine mit Magnetfeldeinrichtung.

Für eine genaue Kenntnis der inneren Struktur von Matrix und Fluid werden die Ausgangsstoffe unter anderem computertomographisch untersucht. Um geeignete Matrix/Fluid- beziehungsweise Elastomer/Partikel-Kombinationen auswählen zu können, entwickeln die Forscher darüber hinaus mathematische Modelle, mit denen sich die einzelnen Komponenten beschreiben lassen. Durch die Verknüpfung der Eigenschaften der einzelnen Materialkomponenten können sie dann eine gezielte Einstellung des Materialverhaltens für spezifische Anwendungen erreichen.

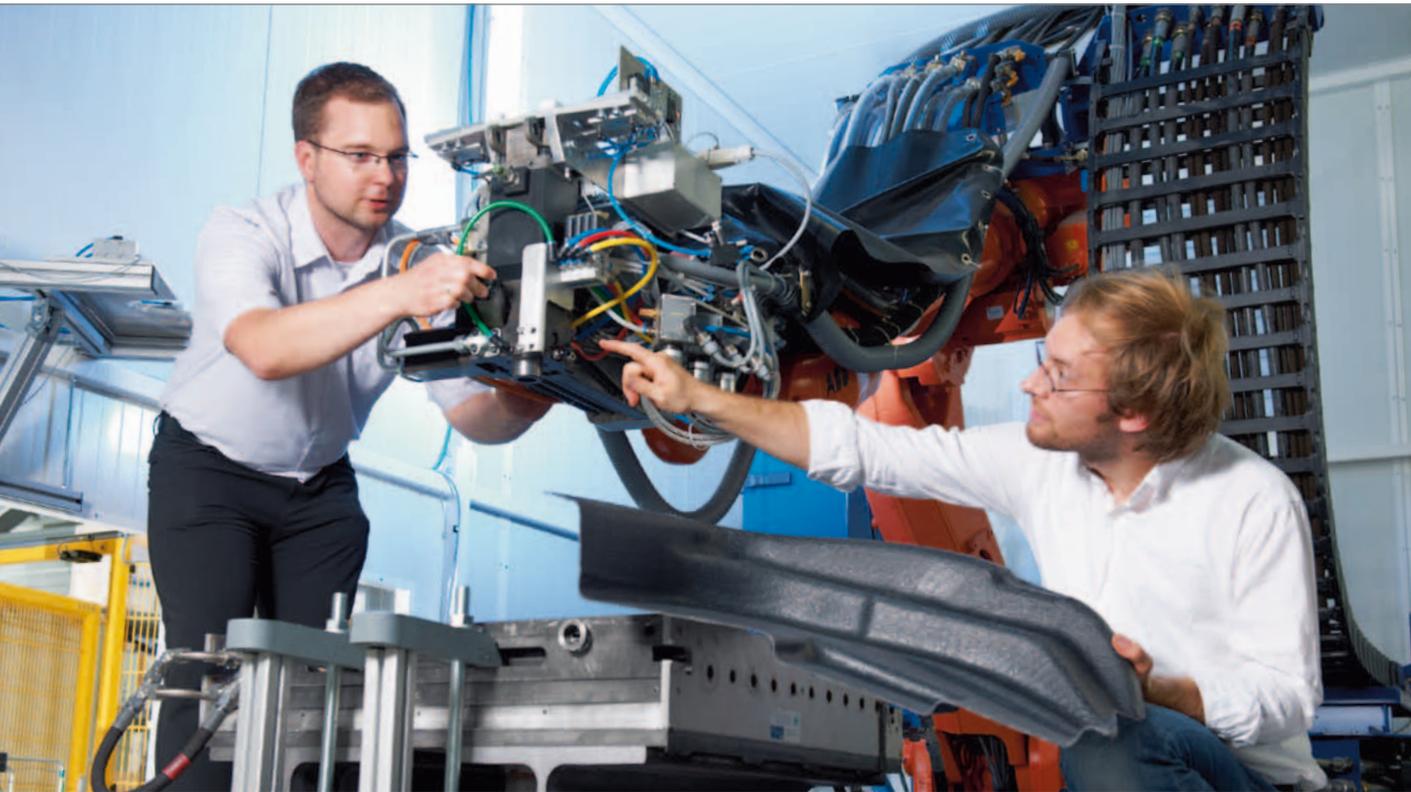
In der Praxis

Das Anwendungspotential solcher präzise schaltbaren Materialien ist groß. So haben Dämpfung und Steifigkeit eines Werkstoffes erheblichen Einfluss auf das Schwingungsverhalten von Bauteilen. An allen bewegten Motoren- und Maschinenteilen treten Schwingungen auf, die zur Materialermüdung führen oder Schallemissionen hervorrufen können. Bei Fahrzeugen haben Schwingungen außerdem Einfluss auf die Fahrstabilität. Da die Stärke der Schwingungen mit der Geschwindigkeit der Bewegung variiert, ist es kaum

Herstellung einer Schaumprobe.

B4





▲
Zwei-Komponenten-Schäumenanlage mit Formwerkzeug.

möglich, die Motoren- und Maschinenlager auf alle Frequenzen und dynamischen Prozesse optimal abzustimmen. Eine Lücke, die sich mit Hilfe der anpassungsfähigen Komposite schließen lässt.

Aufgrund der exakt einstellbaren Eigenschaften eignen sich die neuen Werkstoffe zudem besonders gut zur hochgenauen Schwingungsdämpfung von Präzisionsinstrumenten.

Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Stefan Odenbach,
TU Dresden, Institut für Strömungsmechanik,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 32062
E-Mail: stefan.odenbach@tu-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Maik Gude,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Gert Heinrich,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
Leibniz-Institut für Polymerforschung
Dresden e. V.

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
Werner A. Hufenbach,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Ulbricht,
TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik



C1



NanoWearJoin

Alles Nano in der Schicht



Nano in size, mega in effect

Nanoparticles and nanolayers often deliver amazing effects. When embedded in light metals, for example, they can significantly improve the material characteristics thereof. Taking the form of stacks which can include many thousands of individual layers, nanolayers in film form can be used to create connections which protect the components involved. The scientists participating in the ECEMP subproject NanoWearJoin are using nanoparticles and nanolayers to develop

- hard surfaces,
- improved material properties and
- effective connection procedures.

The scientists cover nanoparticles with a metal layer which functions as a dispersion intermediary between the particles and the metallic flux. They subsequently integrate the particles into component sections where they are required for functional purposes. The minimization of the heat transferred into the basis material during the connection procedure requires the use of so-called reactive multilayers – films consisting of layer stacks made up of individual layers with a thickness of just a few nanometres. This approach facilitates the connection of particularly heat-sensitive materials and material combinations with extremely different thermodynamic characteristics in a way which protects all materials involved.

NanoWearJoin

New manufacturing processes for nanoparticles and nanolayers, nano-based joining and alloying

C1





▲
Metallisierte Nanopartikel.

Neue Fertigungsverfahren für Nanopartikel und Nanoschichten, nanobasiertes Fügen und Legieren

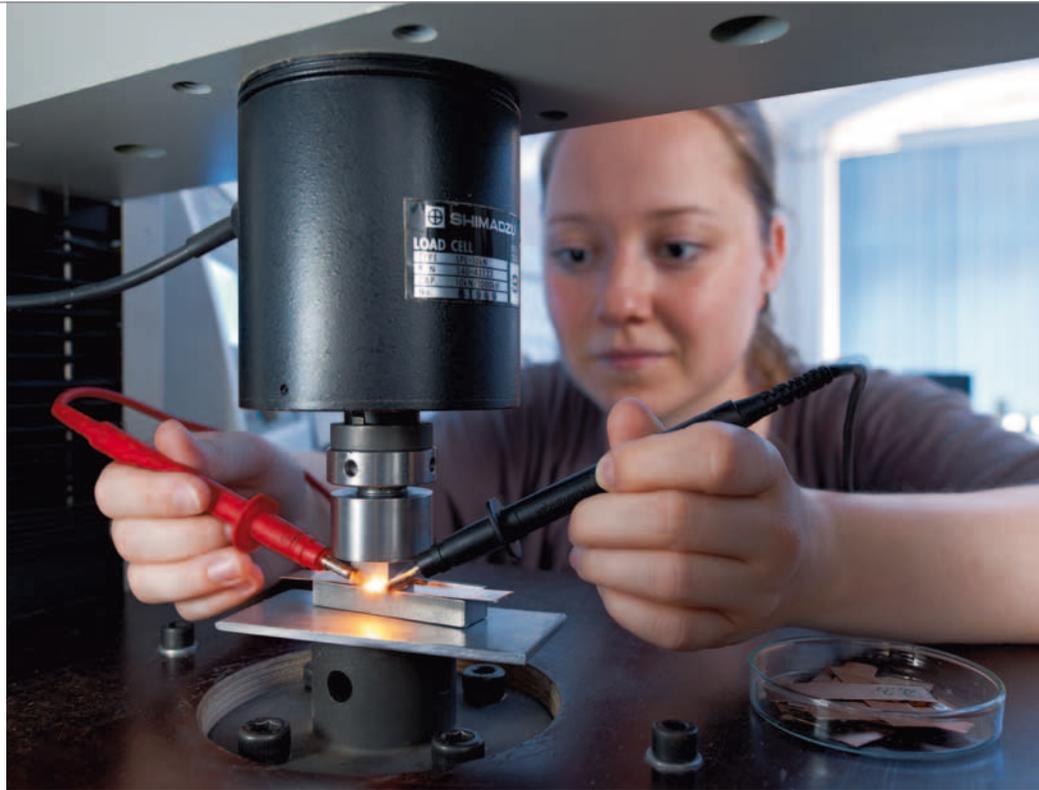
Mit Hilfe von Nanopartikeln und Nanoschichten lassen sich häufig erstaunliche Effekte erzielen. So haben keramische Nanopartikel eine große mechanische Festigkeit und eine hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit. Eingebettet in Leichtmetalle können sie deren Materialeigenschaften deutlich verbessern. Als Schichtstapel von bis zu mehreren tausend Einzelschichten finden Nanoschichten in Form von Folien zum schonenden Fügen von Bauteilen Verwendung. Die Folien eignen sich auch für besonders wärmeempfindliche Materialien und für Materialkombinationen mit sehr unterschiedlichen thermodynamischen Kennwerten.

Die Wissenschaftler im ECEMP-Teilprojekt NanoWearJoin entwickeln mit Hilfe von Nanopartikeln und Nanoschichten:

- harte Oberflächen,
- bessere Materialeigenschaften und
- effektive Fügeverfahren.

Nanopartikel in Bauteiloberflächen

Ziel der Wissenschaftler ist es, neue und einfache Wege zu finden, Nanopartikel in Bauteile zu integrieren und somit die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Bauteilen wesentlich zu verbessern. Da sich die Partikel von den Metallschmelzen nicht benetzen lassen, überziehen die Wissenschaftler die Nanopartikel mittels stromloser Abscheidetechniken mit einer Metallschicht. Diese dient als Dispersionsvermittler zwischen den Partikeln und der metallischen Schmelze. Für die Funktionalität und auch aus Kostengründen ist es häufig sinnvoll, die so vorbehandelten Partikel nicht in das gesamte Bauteil, sondern nur in die Bereiche zu integrieren, in denen sie funktionell benötigt werden. Soll die gesamte Oberfläche beschichtet werden, verwenden die Forscher



C1

▲ *Schweißanlage zum Verschweißen der Reaktivmultischichten.*

unter anderem galvanische oder stromlose Abscheidetechniken aus metallsalzhaltigen Partikeldispersionen. Sollen nur sehr kleine Bereiche modifiziert werden, die einer besonders hohen Beanspruchung ausgesetzt sind, wenden die Forscher das Laser-Draht-Aufschweißen an. Dabei sind die Partikel

Bestandteil eines Nanokompositpulvers, mit dem ein Schweißdraht gefüllt wird. Beim Aufschmelzen lokaler Randbereiche des Bauteils durch einen Laserstrahl oder Lichtbogen werden die Partikel mit dem Schweißdraht in die Schmelze eingebracht.

Schonendes Fügen mit Nanoschichten

Da die bei konventionellen Fügeverfahren häufig benötigten hohen Temperaturen immer eine Veränderung des Ausgangsgefüges bewirken, ist es von großem Vorteil, wenn sich Löt- und Schweißtemperaturen reduzieren lassen. Ein besonders schonendes Fügeverfahren beruht auf der Verwendung sogenannter Reaktivmultischichten (RMS). RMS sind Folien, die aus Schichtstapeln von hunderten, manchmal bis zu einigen tausend, nur wenige Nanometer dicken Einzelschichten zusammengesetzt sind und aus mindestens zwei Materialien bestehen. Gezündet werden die Folien durch einen elektrischen Funken oder Laserpuls. Dadurch kommt es zur Ausbildung einer fortschreitenden Reaktionsfront. So wird in Bruchteilen von Sekunden eine hohe Temperatur in einem räumlich eng begrenzten Gebiet erzeugt und eine auf die Folie aufgebraachte Lotschicht aufgeschmolzen. Durch die besonders kurze Reaktionsdauer ist der Wärmeeintrag in den Grundwerkstoff sehr gering. Daher eignen sich RMS auch zum spannungsarmen Fügen von Materialien

Computertomograph
zur Untersuchung der
Lötverbindungen.



mit sehr unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten und für besonders wärmeempfindliche Materialpaarungen. Die RMS-Technik ist damit auch zum Fügen von thermoplastischen Faser-Kunststoff-Verbunden prädestiniert. Die derzeit angewandten Fügeverfahren schädigen mitunter die Fasern und Matrices und mindern die Festigkeiten der Verbundwerkstoffe oder sind – wie zum Beispiel beim Kleben – aufgrund der häufigen Unpolarität der Klebstoffe nur unter großem Aufwand anwendbar.



Herstellung der metallisierten
Nanopartikel.

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. habil. Eckhard Beyer,
TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 31993
E-Mail: eckhard.beyer@tu-dresden.de
Fraunhofer IWS Dresden,
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

Projektpartner

Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Büchner,
TU Dresden, Institut für Festkörperphysik
IFW Dresden

Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Füssel,
TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Maik Gude,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Stefan Kaskel,
TU Dresden, Fachrichtung Chemie und
Lebensmittelchemie,
Professur für Anorganische Chemie 1,
Fraunhofer IWS Dresden

C1





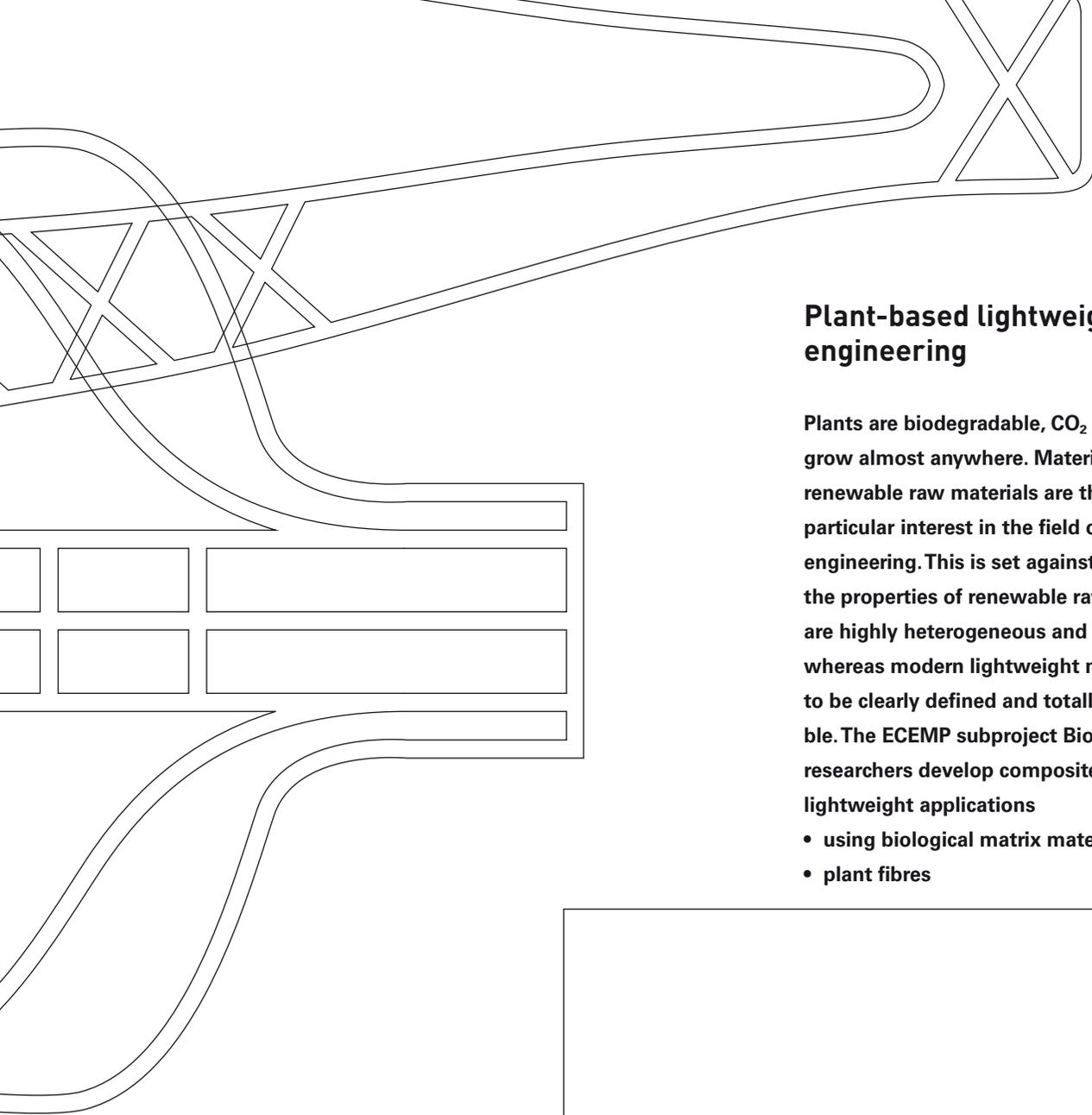
BioHybrid

C2



BioHybrid

Leichtbau mit Pflanzen



Plant-based lightweight engineering

Plants are biodegradable, CO₂ neutral and grow almost anywhere. Materials based on renewable raw materials are therefore of particular interest in the field of lightweight engineering. This is set against the fact that the properties of renewable raw materials are highly heterogeneous and variable – whereas modern lightweight materials need to be clearly defined and totally reproducible. The ECEMP subproject BioHybrid sees researchers develop composite materials for lightweight applications

- using biological matrix materials and
- plant fibres

- without the aid of chemical bonding agents.

Plant fibres taken from flax, hemp and the so-called „fibre nettle“ (*Urtica dioica* L. convar. *fibra*) are used. Where matrix materials are concerned the scientists primarily select cellulose-based materials produced using waste from wood and cotton processing. These materials are subsequently modified in order to facilitate the production of composite materials without the aid of additional chemical bonding agents. The resultant materials are then used to manufacture both large, textile-reinforced composite semi-finished products with continuous fibres and granulated compounds suitable for injection moulding.

BioHybrid

Bionically optimized hybrid structures for resource-efficient lightweight engineering



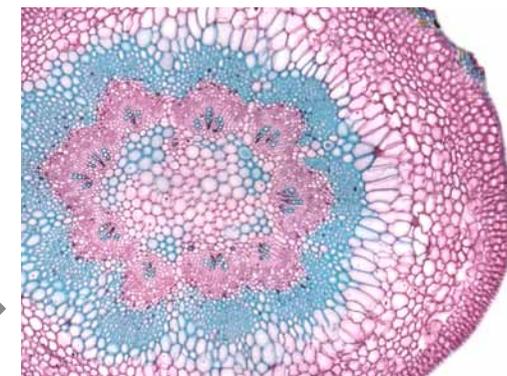
Bionisch optimierte Hybridstrukturen für einen ressourceneffizienten Leichtbau

Pflanzen sind biologisch abbaubar, CO₂-neutral und wachsen auf jedem Feld. Da fossile Rohstoffe zudem nur begrenzt verfügbar und teuer sind, bieten sich für Leichtbauanwendungen Werkstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe geradezu an. Nun ist aber Feld nicht gleich Feld und auch zahlreiche Umweltbedingungen beeinflussen das Wachstum der Pflanzen nachhaltig. Somit ist die Inhomogenität und Varianz der Eigenschaften nachwachsender Rohstoffe besonders groß. Moderne Leichtbauwerkstoffe aber müssen sich definiert und absolut reproduzierbar herstellen lassen.

*Holzapfel (Malus sylvestris L.) ▶
Querschnitt eines faserverstärkten
Fruchstiels, mikroskopische Aufnahme.*

Vor diesem Hintergrund adaptiert ein interdisziplinäres Team aus Naturwissenschaftlern und Ingenieuren im ECEMP-Teilprojekt BioHybrid pflanzliche Werkstoffe und Bauweisen für technische Anwendungen. Die Forscher entwickeln Verbundwerkstoffe für den Leichtbau

- aus biologischen Matrixmaterialien und
- Pflanzenfasern,
- ohne chemische Haftvermittler.



C2
...

◀ Heizkühlmischer zum Vermischen der Pflanzenfasern mit dem Matrixmaterial.

Flachs, Hanf, Fasernessel

Die traditionellen Faserpflanzen Flachs, Hanf und Fasernessel eignen sich als Verstärkungsmaterialien besonders gut. Zur Gewinnung der Fasern erproben die Forscher unterschiedliche Aufschlussverfahren und passen diese gezielt an die Erfordernisse der Herstellungsprozesse und der fertigen Strukturen an. Die Wissenschaftler untersuchen, wie sich die Merkmale der Pflanzen in der Wachstums- und Reifephase ausprägen und welchen Einfluss das auf die Festigkeit der gewonnenen Fasern hat.

Als Verstärkungsmaterialien kommen gerichtete Endlosfasern und textile Naturfasergewebe zum Einsatz. Dabei untersuchen die Forscher, inwieweit sich durch die Anordnung von Fasern und Gewebe die Materialeigenschaften des Verbundwerkstoffes positiv beeinflussen lassen. Da Pflanzen häufig über natürlich optimierte Leichtbaustrukturen verfügen, analysieren sie außerdem die pflanzlichen Konstruktionsprinzipien hinsichtlich der Anordnung und Kombination verschiedener Gewebetypen. So nutzen die Forscher die

Matrixmaterialien aus Pflanzenreststoffen

Derzeit werden häufig zucker- oder stärkebasierte Kunststoffe als Matrixmaterialien eingesetzt. Da Rohstoffe wie Zuckerrohr, Raps und Getreide jedoch auch der Ernährungssicherung dienen, streben die Forscher die Verwertung von Pflanzenreststoffen an. Sie verwenden auf Cellulose basierende Materialien, die hauptsächlich aus Reststoffen der Holz- oder Baumwollverarbeitung gewonnen werden. Bei deren Aufarbeitung liegt die Herausforderung darin, die Cellulose so zu modifizieren, dass sie sich mit den Fasern verbindet und trotzdem noch gute thermoplastische Eigenschaften aufweist. Denn die Verbundwerkstoffe sollen ohne zusätzlich eingebrachte chemische Haftvermittler auskommen. Aus den gewonnenen biobasierten Kunststoffen stellen die Forscher flächige, endlosfaser- und textilverstärkte Verbundhalb-

Pflanzen als Ideengeber für Leichtbauanwendungen und leiten daraus konstruktive Gestaltungshinweise für ihre biometrischen Werkstoffe ab.

zeuge und spritzgießfähige Compounds in Granulatform her. Für den technischen Einsatz der neuartigen Werkstoffe ist die reproduzierbare Aufbereitung und Weiterverarbeitung der biogenen Ausgangskomponenten entscheidend. Daher müssen die Forscher die einzelnen Verarbeitungs- und Fertigungsschritte so aufeinander einstellen, dass sich alle Teilprozesse zu einer technologisch abgestimmten Prozesskette zusammenführen lassen. Modellgestützte Methoden zur Beschreibung und Analyse der Prozessketten unterstützen diese Aufgabe.



▲ *TMP-Anlage (Thermo Mechanical Pulp) zum Aufschließen der Pflanzenfasern.*



▲
Biogene Verbundwerkstoffe ohne chemische Haftvermittler. Dazu wird die Cellulose verestert.

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. André Wagenführ,
TU Dresden,
Institut für Holz- und Papiertechnik,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 38100
E-Mail: andre.wagenfuehr@tu-dresden.de

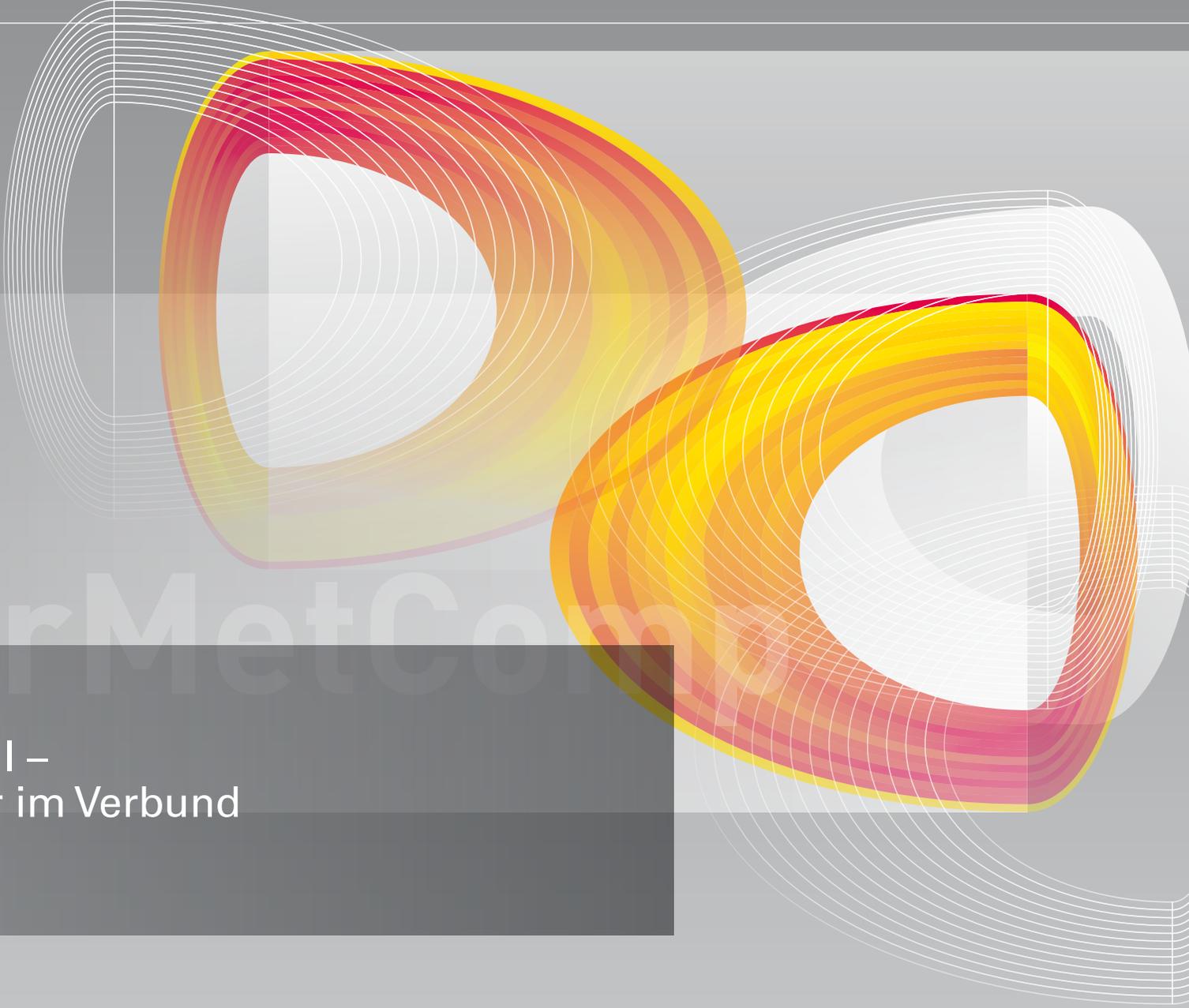
Projektpartner

Prof. Dr. rer. nat. habil. Steffen Fischer,
TU Dresden,
Institut für Pflanzen- und Holzchemie

Prof. Dr.-Ing. habil. Knut Großmann,
TU Dresden, Institut für Werkzeugmaschinen
und Steuerungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
Werner A. Hufenbach,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Christoph Neinhuis,
TU Dresden, Institut für Botanik

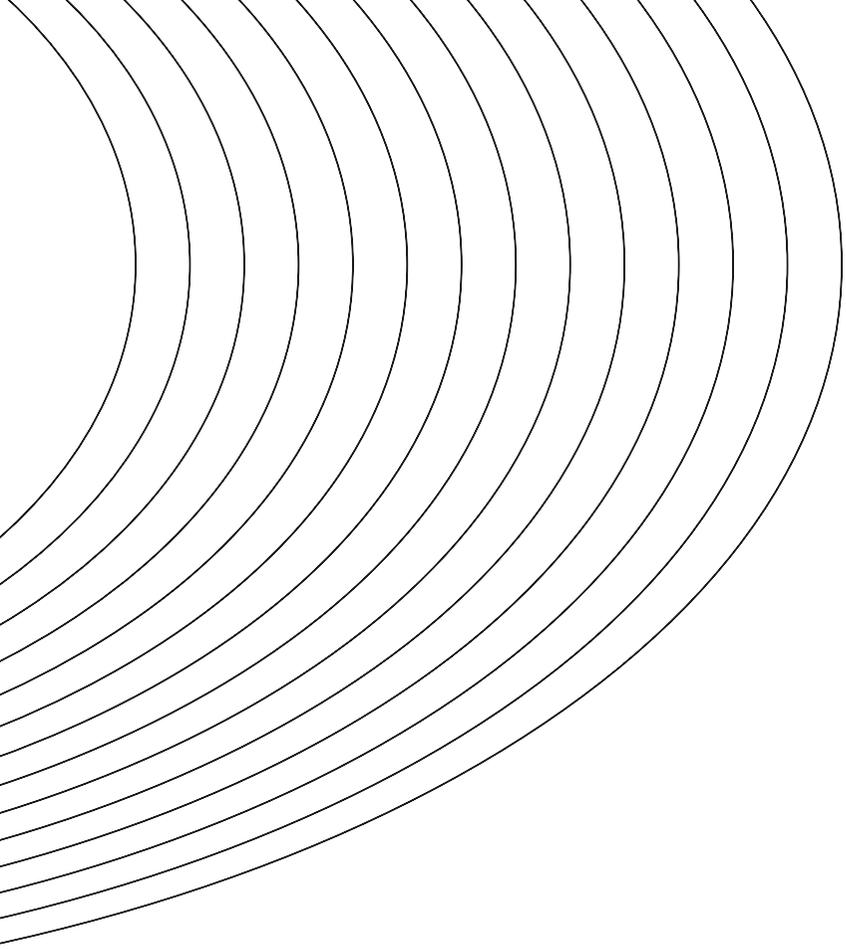


C3



CerMetComp

Keramik und Metall –
zwei starke Partner im Verbund



Ceramics and metal – strong composite partners

Ceramics are highly loadable, resistant to high temperatures, highly resistant to wear and generally resistant to aggressive chemical media. They have therefore become indispensable in many industrial sectors. Ceramics are nevertheless brittle when compared with metallic materials. In order to blend the benefits of ceramics (high strength and hardness) and metals (good ductility), participating scientists are developing ceramic-metal composite materials (for further processing) and material composites (in the form of components) which exhibit:

- **Increased fracture toughness,**
- **good ductility and hardness and**
- **high resistance to temperature.**

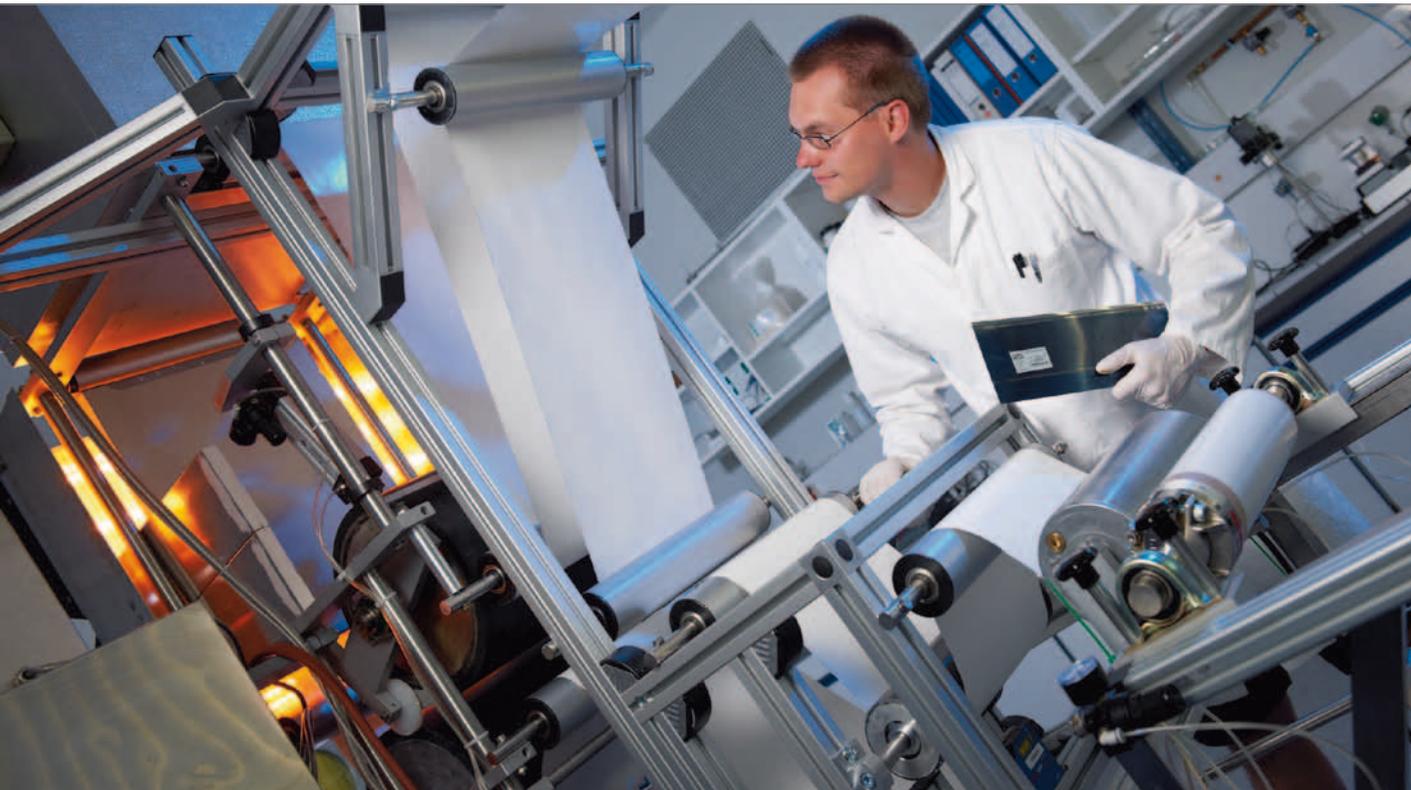
The addition of metallic particles or fibres to ceramic matrix materials enables researchers to increase the fracture toughness of the respective materials. Using a procedure which draws on paper production technology, they produce ceramic-metal foils which can be reshaped, stacked and cut to create workpieces. Though the individual materials involved are extremely different from one another, their use in combination facilitates the production of components which have both an electrically conductive and insulating effect.

CerMetComp

Ceramic-metal composite components for applications in the energy and environmental technology sectors and the manufacturing and characterization thereof

C3





▲
Mit der Streichmaschine stellen die Forscher in einem in der Papierindustrie üblichen Prozess Keramik/Metall-Verbundfolien her.

Keramiken sind hoch belastbar, resistent gegen hohe Temperaturen, sehr verschleißfest und meist widerstandsfähig gegenüber aggressiven chemischen Medien. Daher sind sie für viele Industriezweige unverzichtbar geworden. Aber Keramiken sind, im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen, auch spröde. Um die Vorteile von Keramiken – hohe

Festigkeit und Härte – mit denen der Metalle – gute Duktilität – zu kombinieren, entwickeln die Wissenschaftler Keramik/Metall-Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde mit

- gesteigerter Risszähigkeit,
- guter Duktilität und Härte sowie
- hoher Temperaturbeständigkeit.

Keramik/Metall-Werkstoffverbundbauteile für die Energie- und Umwelttechnik, deren Herstellung und Charakterisierung

Gesteigerte Risszähigkeit

Ziel der Forscher ist es, das an sich grundsätzlich verschiedene Werkstoffverhalten von Metall- und Keramikwerkstoffen miteinander zu kombinieren. Dazu wenden Sie verschiedene Methoden an. Zum einen versetzen sie keramische Matrixmaterialien mit metallischen Partikeln oder Fasern. Die bei deren Anwendung unter Belastung auftretenden mechanischen Spannungen werden durch die eingebrachten Metallteilchen verteilt und führen so zu einer gesteigerten Risszähigkeit des Materials. So können sich Risse nicht mehr ungehindert ausbreiten. Eventuell entstehende Mikrorisse setzen sich nur so weit fort, bis sie auf ein Partikel treffen. Dort findet eine plastische Verformung des Metalls statt und dem Riss wird die Energie genommen. Mit Nickel erreichen die Forscher in der Regel eine entsprechende Duktilisierung von Keramiken.

Kostengünstige Fertigung planarer Funktionsbauteile

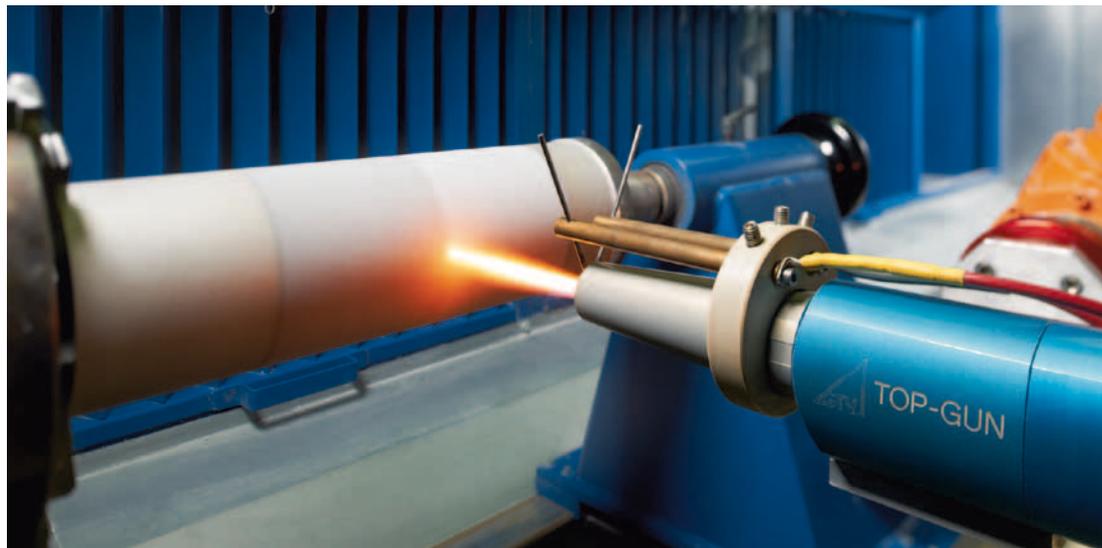
Zum anderen stellen die Forscher flache, papierartige Halbzeuge her. Dazu streichen sie abwechselnd Keramik- und Metallpulver auf eine später zu entfernende Trägerschicht. Die Folien lassen sich umformen, stapeln und schneiden und in der gewünschten Form aufbauen. Durch anschließende Sinterung erhält das Bauteil seine Festigkeit. Die Technologie soll der flexiblen und kostengünstigen Fertigung komplex geformter keramischer Bauteile oder der Herstellung planarer Trägerstrukturen für energie- und umwelttechnische Anwendungen dienen. Ein auf dieser Verbundfolie basierendes Schneidwerkzeug für stark abrasive mineralische Fasern und Textilien, wie zum Beispiel Gesteinsfasern, haben die Wissenschaftler bereits hergestellt. Es besteht aus einer Keramik Klinge mit metallischen Deckflächen. Durch die verschleißende Wirkung beim Schneiden der Spezialtextilien ist ein Nachschärfen des Werkzeuges nicht notwendig. Das weiche Metall wird abgetragen und die Keramik bricht ab, wodurch erneut eine scharfe Klinge entsteht.

C3

Elektrisch leitend und isolierend

Durch die Verwendung dieser so unterschiedlichen Materialien, lassen sich auf diese Weise auch Bauteile herstellen, die sowohl elektrisch leitend sind als auch isolierend wirken. Das ist unter anderem in der Medizintechnik gefragt, wenn in der Chirurgie Gefäße geöffnet und mit Hilfe von elektrischem Strom wieder geschlossen werden. Dabei stellen die keramischen Außenschichten sicher, dass der Strom nur lokal fließt und so ein gezielter

Verschluss von Blutgefäßen erfolgen kann. Mit Hilfe des sogenannten Thermischen Spritzens bringen die Forscher Metall- und Keramikschichten auf Bauteile auf. Sie erhalten dabei metallische Bauteile mit sehr harten Oberflächen. Auch eine Funktionalisierung ist auf diese Weise möglich. Setzen die Forscher zum Beispiel Keramiksuspensionen ein, die mit Metallpartikeln versetzt sind, kann das zu einer besseren Duktilität der Schichten führen. So lassen sich besonders homogene, dünne Schichten herstellen, was zu einer deutlichen Qualitätsverbesserung der Beschichtung führt.

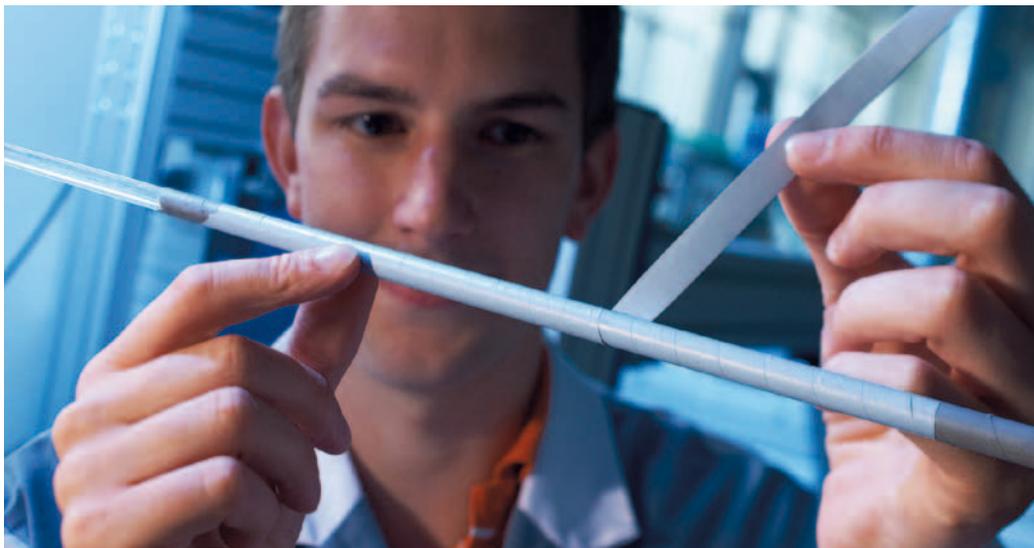


◀ *Mit der Flamm-spritze beschichten die Forscher metallische Oberflächen mit Keramiken. So werden diese besonders hart.*

Keramik-Metall-
Verbund auf einer
Trägerfolie.



Wickelanlage zum
Wickeln von Keramik-
Metall-Verbundfolien.
Durch unterschied-
liche Keramik- und
Metallgehalte stellen
die Wissenschaftler
gradierte Bauteile
her.



Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback,
TU Dresden
Institut für Werkstoffwissenschaft,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 32756
E-Mail: bernd.kieback@tu-dresden.de
Fraunhofer IFAM Dresden,
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Eckhard Beyer,
TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik,
Fraunhofer IWS Dresden

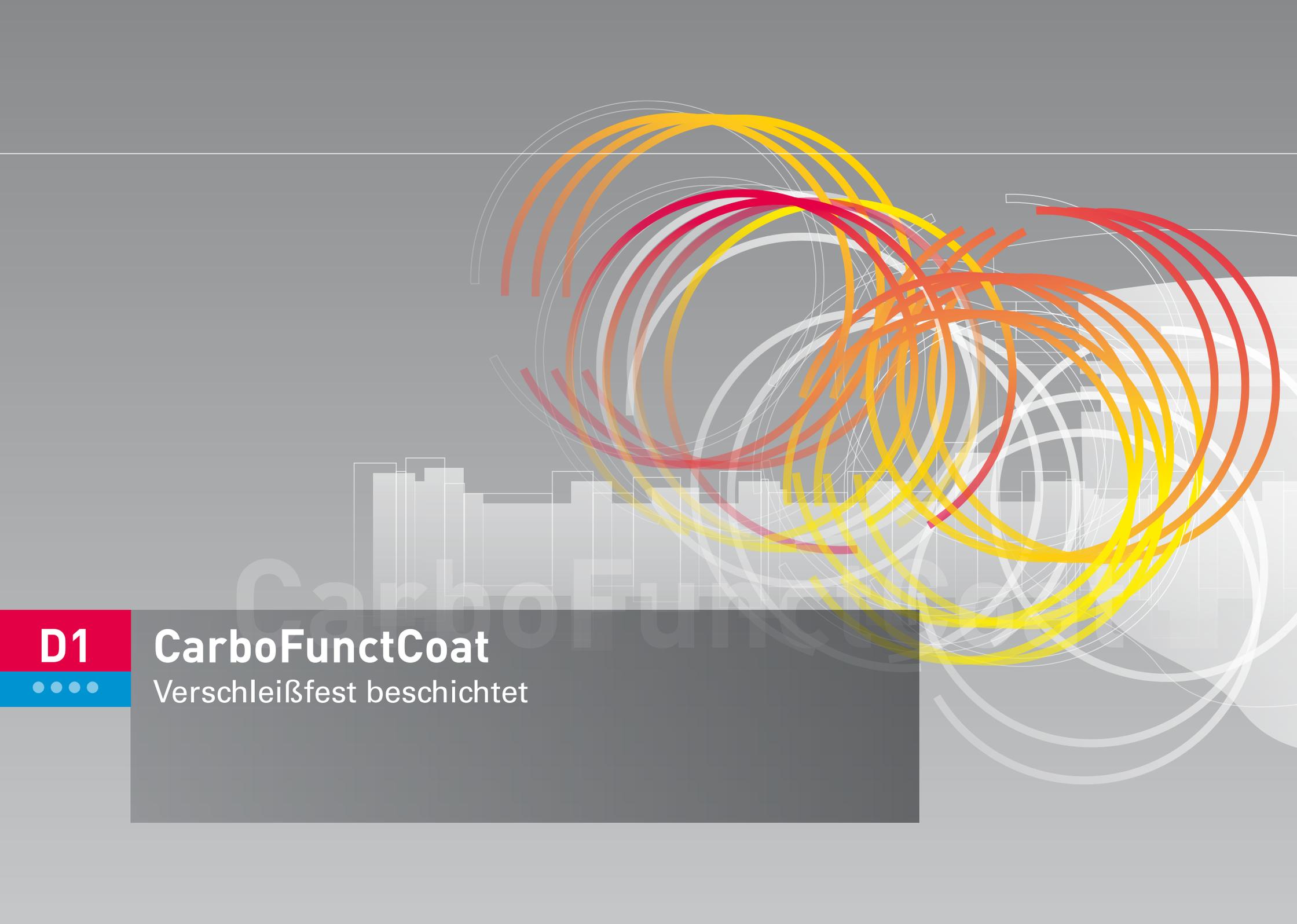
Prof. Dr.-Ing. Harald Großmann,
TU Dresden, Institut für Holz- und Papiertechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
Werner A. Hufenbach,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Alexander Michaelis,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
Fraunhofer IKTS Dresden

C3

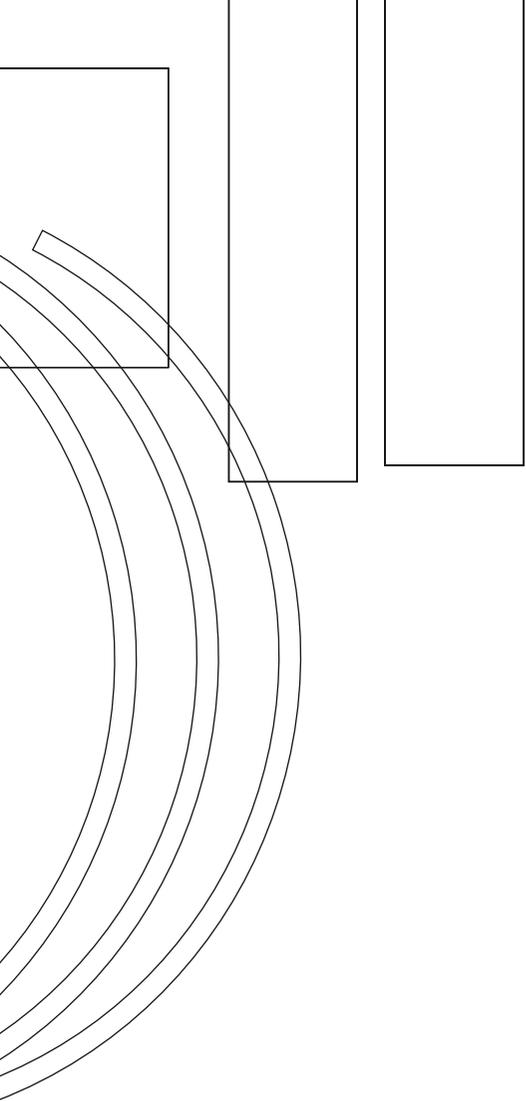




D1

CarboFunctCoat

Verschleißfest beschichtet



Wear-resistant coatings

Friction leads to wear and energy loss. In motor vehicles this is always accompanied by higher fuel consumption – whether as a result of increased roll resistance in tyres or friction involving other moving parts. A decrease in friction-related energy losses in combustion engines can therefore reduce consumption of lubricants, additives and fuel – which in turn decreases CO₂ emissions. In order to achieve this goal, the team of engineers, physicists and chemists participating in the ECEMP subproject CarboFunctCoat are developing

- **extremely durable,**
 - **self-lubricating coatings,**
 - **characterized by good resistance to temperature**
- for motor parts subjected to significant loads. The coatings are extremely thin and primarily consist of a diamond-like form of carbon (ta-C layers). Tests carried out under realistic conditions on motor test benches have demonstrated that the coatings can even lead to superlubricity (i.e. friction disappears completely) – especially when used in combination with biogenic lubricants.**

CarboFunctCoat

Carbon-based functional coatings for tribological applications

D1





Kohlenstoffbasierte Funktionsschichten für tribologische Anwendungen

Reibung bedeutet Verschleiß und Energieverlust. Für Fahrzeuge geht das immer mit einem höheren Kraftstoffverbrauch einher. Das gilt sowohl für den Rollwiderstand der Reifen auf der Straße als auch für alle beweglichen Motorenteile. Gelingt es, die reibungsbedingten Energieverluste im Verbrennungsmotor zu verringern, kann man damit Schmiermittel, Additive und Kraftstoff einsparen. Ein geringer Kraftstoffverbrauch wiederum hat auch eine Minderung der CO₂-Emissionen zur Folge. Um dieses Ziel zu erreichen, entwickelt ein Team aus Ingenieuren, Physikern und Chemikern im ECEMP-Teilprojekt CarboFunctCoat für hochbelastete Motorenteile

- extrem beständige,
- selbstschmierende Beschichtungen
- mit guter Temperaturbeständigkeit.

Diamantartige Schichten

Die Schichten sind sehr dünn und bestehen überwiegend aus diamantartigem Kohlenstoff (ta-C-Schichten), der eine außergewöhnliche Kombination von vorteilhaften Materialeigenschaften aufweist: große Härte, sehr gutes Reibverhalten, geringen Verschleiß und geringe Masse. Da die Struktur auch graphitartigen Kohlenstoff enthält, lässt sich nicht nur die Härte sondern auch der Elastizitätsmodul gezielt einstellen. Durch Zugabe eines geringen Metallanteils (C:TM-Schichten) können die Wissenschaftler zudem die sehr gute Temperaturbeständigkeit der Beschichtungen noch weiter erhöhen.

Zur Generierung der Schichten wenden die Wissenschaftler modernste Beschichtungstechnologien an. So stellen sie beispielsweise die ta-C-Schichten mit Hilfe des Laser-Arc-

D1



◀ In der Laserlichtbogenkammer beschichten die Forscher Motorenteile mit diamantartigen Kohlenstoffschichten.

Verfahrens her. Dabei wird der Kohlenstoff durch eine lasergezündete Vakuumbogenentladung verdampft und ein hochenergetisches Kohlenstoffplasma erzeugt. Durch gezieltes Einstellen der Beschichtungsbedingungen bilden die energiereichen Kohlenstoffteilchen beim Auftreffen auf das Werkstück die diamantartige Schicht aus. Die C:TM-Funktionsschichten stellen die Forscher vor allem durch ionenunterstützte Abscheidung her, bei der die Kohlenstoffschicht auf dem Werkstück zusätzlich durch Ionenbestrahlung verdichtet wird.

D1

Plasmaentladung in der HiPIMS-Kammer.



Superlubrizität mit ta-C-Schichten

Die Optimierung von Beschichtungsmaterial und -technologie setzt ein detailliertes Verständnis der Prozesse sowohl bei der Abscheidung der Schicht als auch bei der Verwendung der beschichteten Teile unter konkreten Einsatzbedingungen voraus. Daher führen die Forscher atomistische Simulationen und Multiskalen-Modellierung durch. Zudem testen sie die Schichten im Motorenprüfstand unter realen Einsatzbedingungen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Verbesserung der tribologischen Eigenschaften für die tetraedrisch-amorphen Kohlenstoffschichten (ta-C) vor allem in Kombination mit biogenen Schmierstoffen erheblich ist und sogar Superlubrizität

Motorenteile, wie Kolbenringe, Kolbenbolzen und Exzenterwelle.



auftritt. Für eine spätere Industrialisierung soll der Einfluss unterschiedlicher Schmierstoffe untersucht werden. Damit wollen die Forscher die Verträglichkeit der ta-C-Beschichtung mit den am Markt verfügbaren mineralischen sowie biogenen Schmierstoffen sicherstellen.

Die beschichteten Bauteile sind systemrelevant für jeden Verbrennungsmotor. Somit lassen sich die erzielten Ergebnisse auf alle Fahrzeugklassen und auch auf Bahnen und Schiffe anwenden. Auch in vielen Bereichen der Energieerzeugung könnten auf diese Weise beschichtete Bauteile den Wirkungsgrad erhöhen und somit die CO₂-Emissionen deutlich vermindern. Zudem trägt die erwartete CO₂-Einsparung zum Erreichen der EU-Einsparvorgaben für den Flottenverbrauch bei.

HiPIMS-Kammer zur Hochimpuls-Magnetron-Abscheidung.





Im Motorenprüfstand werden die beschichteten Motorenteile unter Realbedingungen getestet.

Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Faßbender,
 TU Dresden, Institut für Festkörperphysik
 01062 Dresden,
 Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf,
 Bautzner Landstraße 400,
 01328 Dresden
 Telefon: +49 (0)351 260 3096
 E-Mail: j.fassbender@hzdr.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Eckhard Beyer,
 TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik,
 Fraunhofer IWS Dresden

Prof. Dr. rer. nat. habil. Gotthard Seifert,
 TU Dresden, Fachrichtung Chemie und
 Lebensmittelchemie,
 Professur für Physikalische Chemie 1 /
 Theoretische Chemie

Prof. Dr.-Ing. Hans Zellbeck,
 TU Dresden,
 Institut für Automobiltechnik Dresden

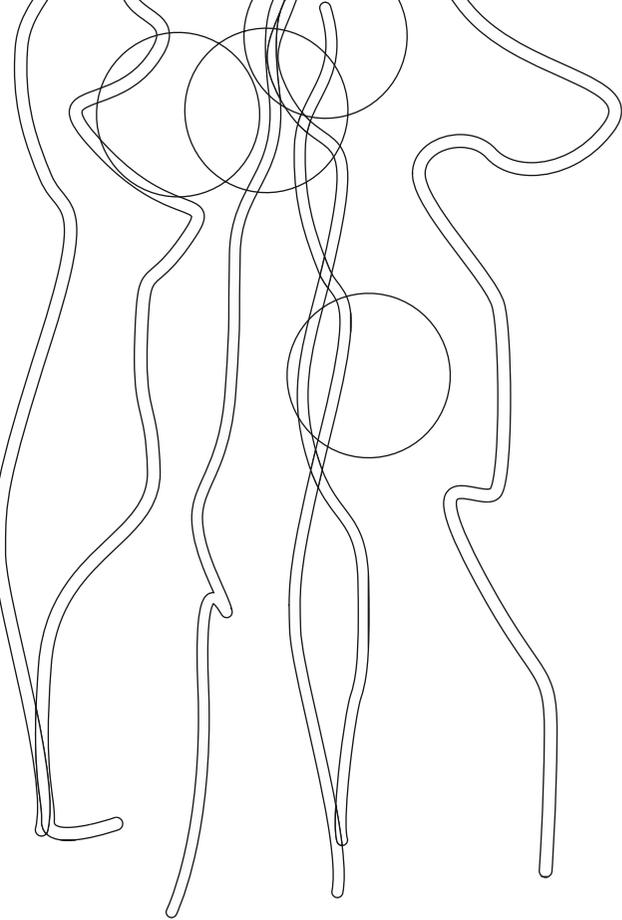


D2



Enertrode

Große Oberflächen



Large surfaces

Climate protection and energy security are amongst the greatest challenges of our time. A significant amount of research is therefore still required in the fields of electrical energy storage and environmentally friendly vehicle motors in particular. To this end, the scientists involved in the ECEMP subproject Enertrode are developing nano-structured electrode surfaces for

- fuel cells and
- supercapacitors.

In the case of supercapacitors the scientists have manufactured highly porous carbon materials with specific surfaces of up to 2,500 square metres per gram. The capacity of around 150 Farads per gram achievable on this basis corresponds with 50 to 100 times the capacity of a conventional capacitor. The researchers let vertically oriented carbon nanotubes (CNTs) „grow“ on the fuel cell electrodes before precipitating catalytic precious metal particles onto the tips of the CNTs. This gives them highly conductive electrodes on which the reaction between protons and oxygen ions can occur immediately after they have passed through the proton-conducting membrane.

Enertrode

Manufacturing technologies and component integration for nano-structured carbon electrodes for applications in the energy technology sector

D2





**Fertigungstechnologien und Bauteilintegration
von nanostrukturierten Kohlenstoffelektroden
für die Energietechnik**

◀ Kohlenstoffelektrode und Supercap-Zelle.

Der Klimaschutz und die Sicherung der Energieversorgung gehören zu den Herausforderungen unserer Zeit. Dabei sind durch die Energiewende und den Umbau auf dem Kraftfahrzeugsektor ganz neue Konzepte und Ideen gefragt. Gerade im Hinblick auf die Speicherung von elektrischer Energie und im Bereich umweltfreundlicher Fahrzeugantriebe ist noch viel Forschungsarbeit zu leisten. Die Wissenschaftler im ECEMP-Teilprojekt Elektrode entwickeln nanostrukturierte Elektrodenoberflächen

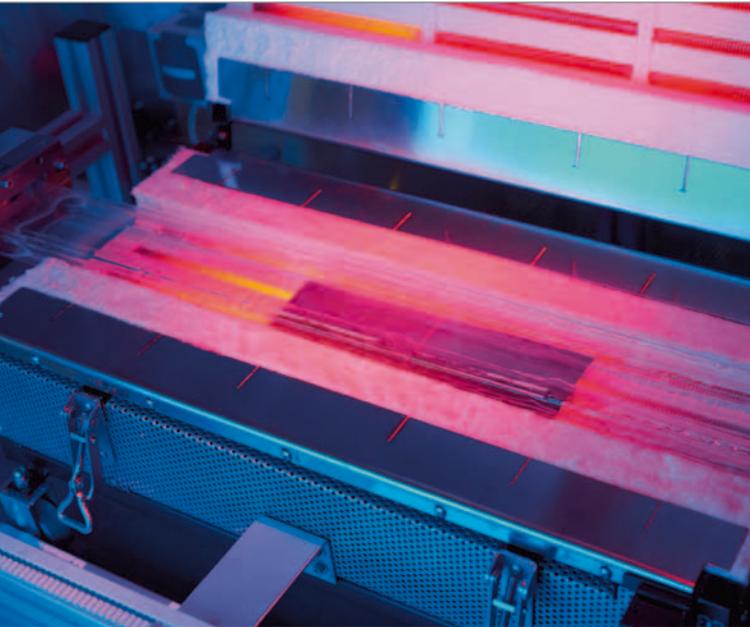
- für Brennstoffzellen und
- Superkondensatoren.

Die neuen Materialkonzepte setzen die Forscher im Rahmen des Projektes in Bauteilen zur Speicherung und Wandlung von Energie um.

Kondensatoren sind aus zwei plattenförmigen Elektroden aufgebaut, die durch einen Isolator voneinander getrennt sind. Legt man an die Elektroden eine Spannung an, laden sie sich entgegengesetzt auf. Die Ladungen bleiben so lange erhalten, bis sie durch einen Verbraucher wieder abfließen können. Lade- und Entladevorgang laufen sehr schnell ab, der

D2





◀ CVD-Anlage: Chemical Vapour Deposition.

die Elektroden auf, bilden die Ionen eine zweite Schicht aus. Die elektrische Energie wird in Form einer elektrochemischen Doppelschicht gespeichert. Da die Kapazität abhängig von der Gesamtoberfläche der Elektroden ist, ist die Energiespeicherefähigkeit von Doppelschichtkondensatoren deutlich höher als die herkömmlicher Kondensatoren. Um deren Kapazität weiter zu erhöhen, stellen die Wissenschaftler hochporöse Kohlenstoffmaterialien her. So ist es ihnen bereits gelungen, Elektrodenmaterialien mit spezifischen Oberflächen von bis zu 2500 Quadratmetern pro Gramm herzustellen. Mit drei Gramm dieses Materials könnte man die Fläche eines Fußballfeldes bedecken. Die erreichbare Kapazität entspricht dabei mit circa 150 Farad pro Gramm der 50- bis 100-fachen Kapazität eines herkömmlichen Kondensators. Eine weitere Kapazitätserhöhung erreichen die Wissenschaftler, indem sie Eisenoxid-Nanopartikel in die Poren des Kohlenstoffmaterials einbringen. Dadurch laufen zusätzlich zum Auf- und Abbau der Doppelschicht, ganz ähnlich wie in Batterien, elektrochemische Reaktionen ab.

Vorgang ist reversibel und kann beliebig oft wiederholt werden. So lässt sich innerhalb kürzester Zeit elektrische Energie deponieren und auch wieder abrufen. Allerdings ist die Speicherkapazität herkömmlicher Kondensatoren sehr gering.

Zwei Kondensatoren in einem Bauteil

Die Elektroden von Doppelschicht- oder auch Superkondensatoren sind von einer Lösung umgeben, die Ionen enthält. Laden sich nun



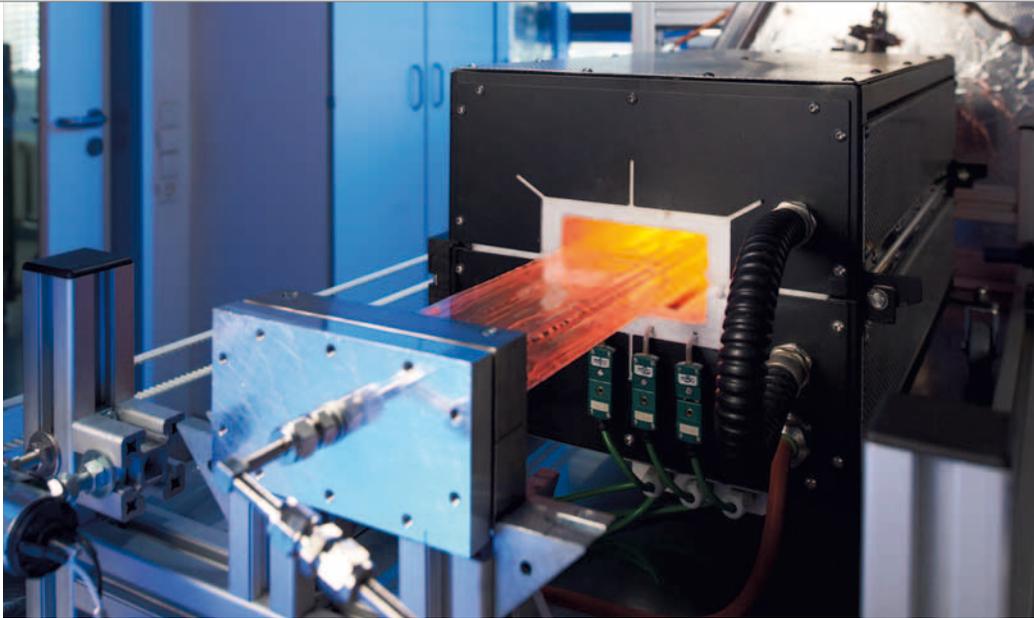
◀ Elektrochemische 3-Elektroden-Testzelle für Superkondensatoren.

Ein Rasen aus Kohlenstoff-Nanoröhren

Elektroden von Brennstoffzellen haben einen sehr komplexen Aufbau. Sie müssen gasdurchlässig und elektrisch leitend sein, gleichzeitig sollen sie als Träger des Katalysators dienen. Die Wissenschaftler haben Elektroden für Brennstoffzellen entwickelt, auf die sie Kohlenstoffnanoröhren (CNT) vertikal orientiert als „Rasen“ aufwachsen lassen. Durch den direkten Kontakt der CNT an die Elektro-

D2





CVD-Anlage: Mittels chemischer Gasphasenabscheidung werden auf elektrisch leitfähigen Substraten die vertikal orientierten Kohlenstoffnanoröhren abgeschieden.

denoberfläche ist der elektrische Widerstand sehr gering. Verbunden mit der ohnehin schon sehr hohen elektrischen Leitfähigkeit der CNT ist die resultierende Leitfähigkeit der Elektroden besonders hoch. Der Vorteil, der sich aus dieser speziellen Struktur ergibt, ist eine sehr große, leicht zugängliche Oberfläche. Zusätzlich ist es den Forschern gelungen, die als Katalysator dienenden Edelmetallpartikel an

den Spitzen der CNT abzuscheiden. So kann die Reaktion der Protonen mit den Sauerstoffionen auf kürzestem Weg direkt nach dem Durchtritt durch die protonenleitende Membran ablaufen.

Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Stefan Kaskel,
TU Dresden, Fachrichtung Chemie und
Lebensmittelchemie,
Professur für Anorganische Chemie 1,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 33632
E-Mail: stefan.kaskel@chemie.tu-dresden.de
Fraunhofer IWS Dresden,
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Eckhard Beyer,
TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik,
Fraunhofer IWS Dresden

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Eckert,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
IFW Dresden

Prof. Dr. rer. nat. habil. Alexander Michaelis,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
Fraunhofer IKTS Dresden

D2

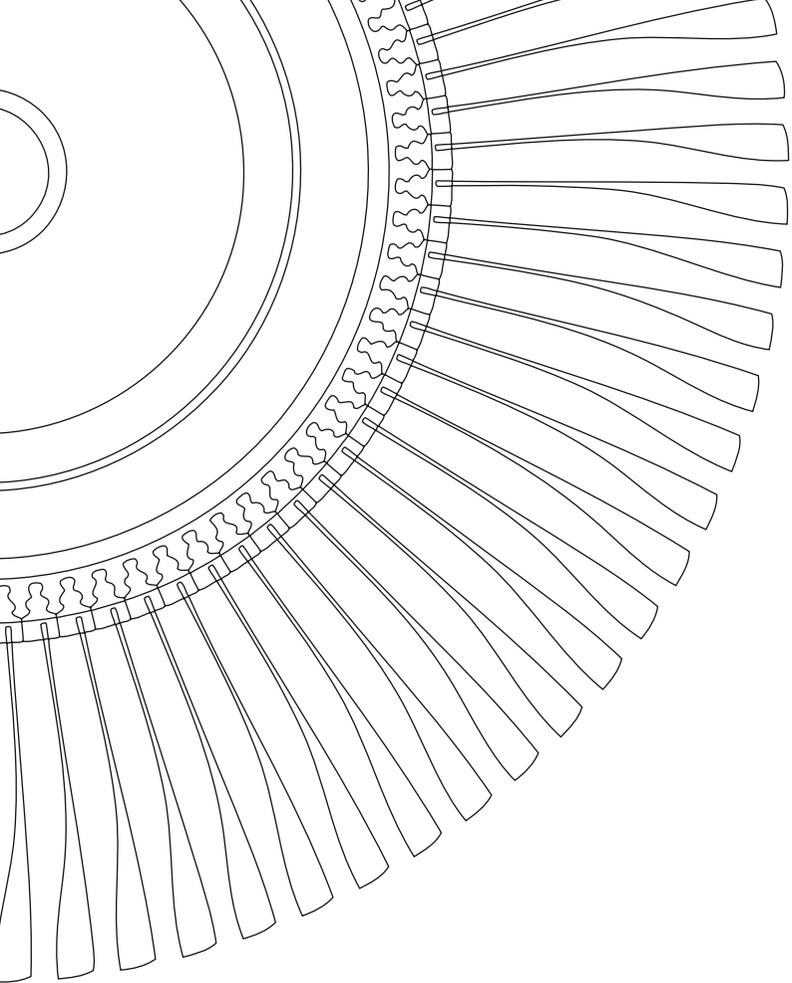




E1

ProbaCast

Prozesse simulieren



Process simulation

Only around 40 per cent of the energy required to operate gas turbines is actually converted into electricity. A significant increase in operating temperatures inside turbines is required if this low level of efficiency is to be raised. The aim of the scientists participating in the ECEMP subproject ProbaCast is to achieve a broader fundamental understanding of the casting and cooling processes involved in the manufacture of high-performance turbine blades. The knowledge gained is to be used to

- reduce turbine blade development times,
- increase power station efficiency.

For the first time, a combination of numerical and probabilistic simulation of the casting process enables the scientists to use a computer to both predict and influence the outcome of the casting process. Using a special hot gas test bench, the researchers test the demonstrators manufactured on the basis of their findings under realistic operating conditions. In particular, the knowledge gained within the framework of that testing enables them to predict the useful life of a turbine blade with greater accuracy.

ProbaCast

Further development of novel, efficient methods of developing manufacturing processes for precision-cast components

E1





Weiterentwicklung von neuartigen effizienten Methoden zur Entwicklung von Herstellprozessen für Feingussbauteile

Beim Betrieb von Gasturbinen, wie sie in Kraftwerken und in Flugtriebwerken zum Einsatz kommen, wird nur etwa 40 Prozent der Energie tatsächlich auch umgesetzt. Um diesen niedrigen Wirkungsgrad zu steigern, müssten die Betriebstemperaturen in den Turbinen noch einmal deutlich erhöht werden. Ziel der Wissenschaftler im ECEMP-Teilprojekt ProbaCast ist es, durch Kombination verschiedener Simulationsverfahren ein grundlegendes Verständnis für die bei der Herstellung von Hochleistungsturbinenschaufeln ablaufenden Gießerei- und Abkühlprozesse zu erlangen. Dadurch wollen sie

- die Entwicklungszeiten der Turbinen deutlich verkürzen und
- den Wirkungsgrad der Kraftwerke erhöhen.

Bei Heißgastemperaturen in Turbinen von bis zu 1600 Grad Celsius, kommen in der Regel spezielle Hochtemperaturwerkstoffe wie poly- und einkristalline Nickelbasis-Superlegierungen zum Einsatz. Diese sind zusätzlich mit Wärmedämmschichten versehen und werden während des Betriebs intensiv gekühlt. Denn selbst deren maximale Dauereinsatztemperatur liegt nur bei etwa 900 bis 1000 Grad Celsius. Für die Kühlung sind die Schaufeln mit zahlreichen feingliedrigen Kanälen und Bohrungen versehen. Durch diese filigrane Struktur und die extremen Betriebsbedingungen senkt jeder Materialdefekt die Lebensdauer der Turbinenschaufeln deutlich. Um mögliche Gießfehler zu vermeiden, sind daher langwierige Vorlaufversuche erforderlich, sodass die Etablierung einer prozesssicheren Herstellungsroutine der Schaufeln viel Zeit in Anspruch nimmt und hohe Kosten verursacht.

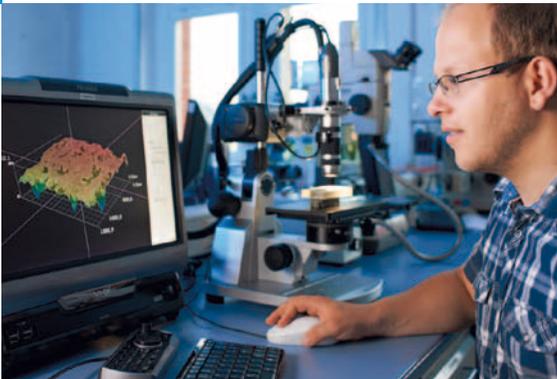
E1

◀ Mit der Miniprüfvorrichtung werden miniaturisierte Gussproben unter mechanischer Belastung getestet.

Probabilistische und numerische Simulation

Die Wissenschaftler ermitteln mit Hilfe der numerischen und der probabilistischen Simulation des Gießprozesses robuste Parameterfenster für die Präzisionsgießprozesse. Dazu haben sie den Gießprozess analysiert, die auftretenden Streuungen während des Gießens klassifiziert und analytisch beschrieben sowie einen virtuellen Gießprozess erstellt. Daraus können sie Aussagen über die Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern und den Materialdefekten in den Schaufeln treffen. So ist es den Forschern erstmals möglich, die Ergebnisse des Gießprozesses mit Hilfe des Computers vorherzusagen, die Bedingungen beim Gieß- und Abkühlprozess gezielt einzustellen und das Gießergebnis nach ihren Wünschen zu beeinflussen.

E1



Werkstoffcharakterisierung

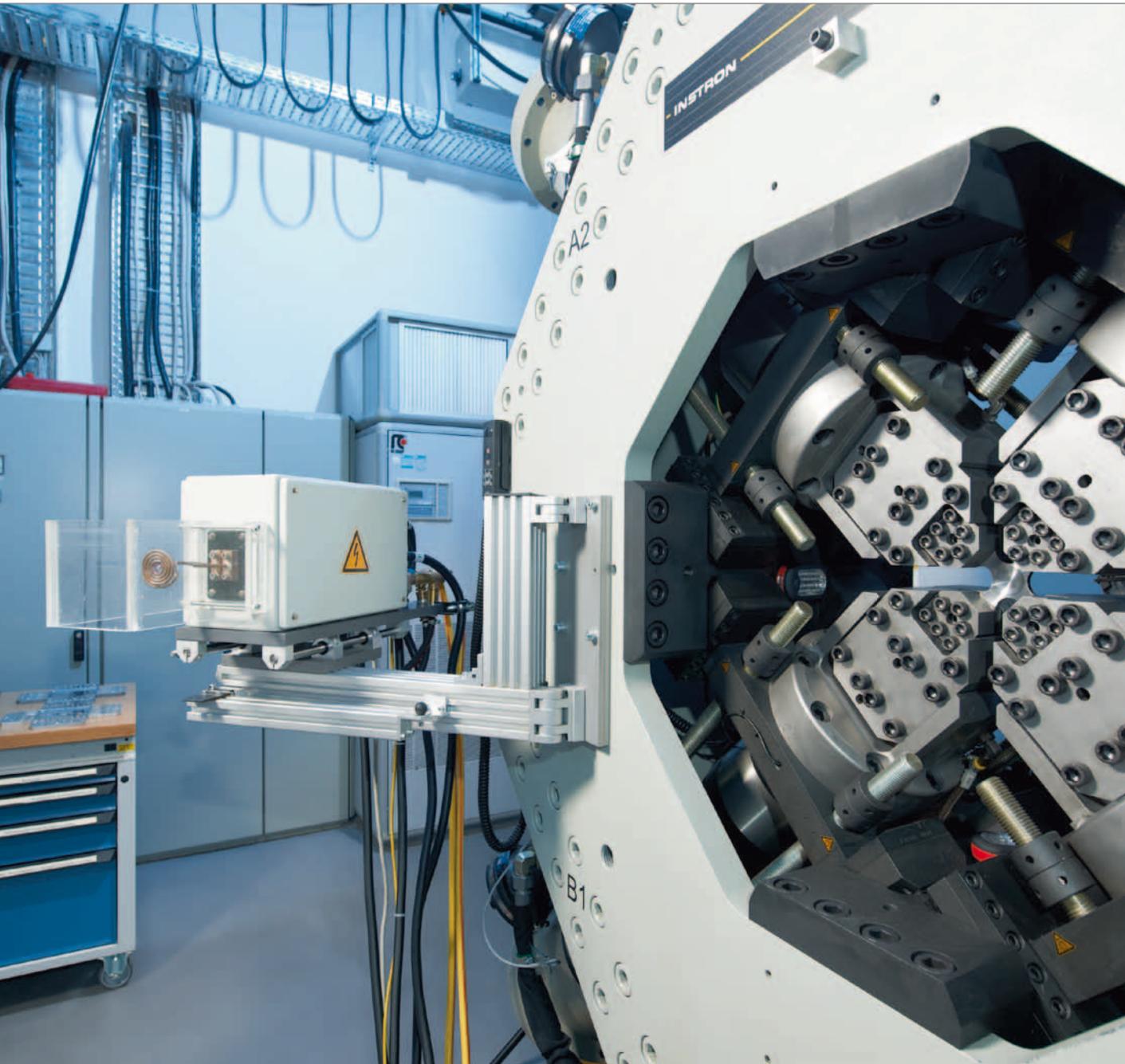
Mit Hilfe von Gießversuchen an schaufelähnlichen Demonstratoren überprüfen und überarbeiten die Wissenschaftler ihre Erkenntnisse. Sie analysieren das Gefüge des Werkstückes und führen werkstoffmechanische Charakterisierungen durch. Zudem testeten sie die Demonstratoren in einem speziellen Heißgasprüfstand unter realen Einsatzbedingungen, bei mehrachsiger Belastung, einer Materialtemperatur höher als 900 Grad Celsius und unter Thermoschock.

Im Einsatz

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen den Forschern vor allem auch dazu, die Lebensdauer der Turbinenschaufeln genauer vorherzusagen zu können. Damit sollen Materialermüdungen besser prognostiziert und Wartungsintervalle realistischer eingeschätzt werden können. Bisher muss die wahrscheinliche Lebensdauer der Turbinenschaufeln geschätzt und zum Teil sogar Schaufeln vorsorglich ausgetauscht werden. Bei Herstellungskosten von zwischen 4.000 und bis zu 20.000 Euro pro Schaufel ist das ein beträchtlicher Kostenfaktor. Eine realistische Lebensdauervorhersage bedeutet damit einen erheblichen Sicherheitsgewinn und eine deutliche Ressourcen- und Kostenersparnis.

◀ *Mikroskop zur 3D-Untersuchung des Gefüges von Gussproben.*

Biaxialprüfmaschine zur Untersuchung der Gussproben unter mehrachsiger mechanischer Belastung. ▶



Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Konrad Vogeler,
TU Dresden,
Institut für Strömungsmechanik
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 32063
E-Mail: konrad.vogeler@tu-dresden.de

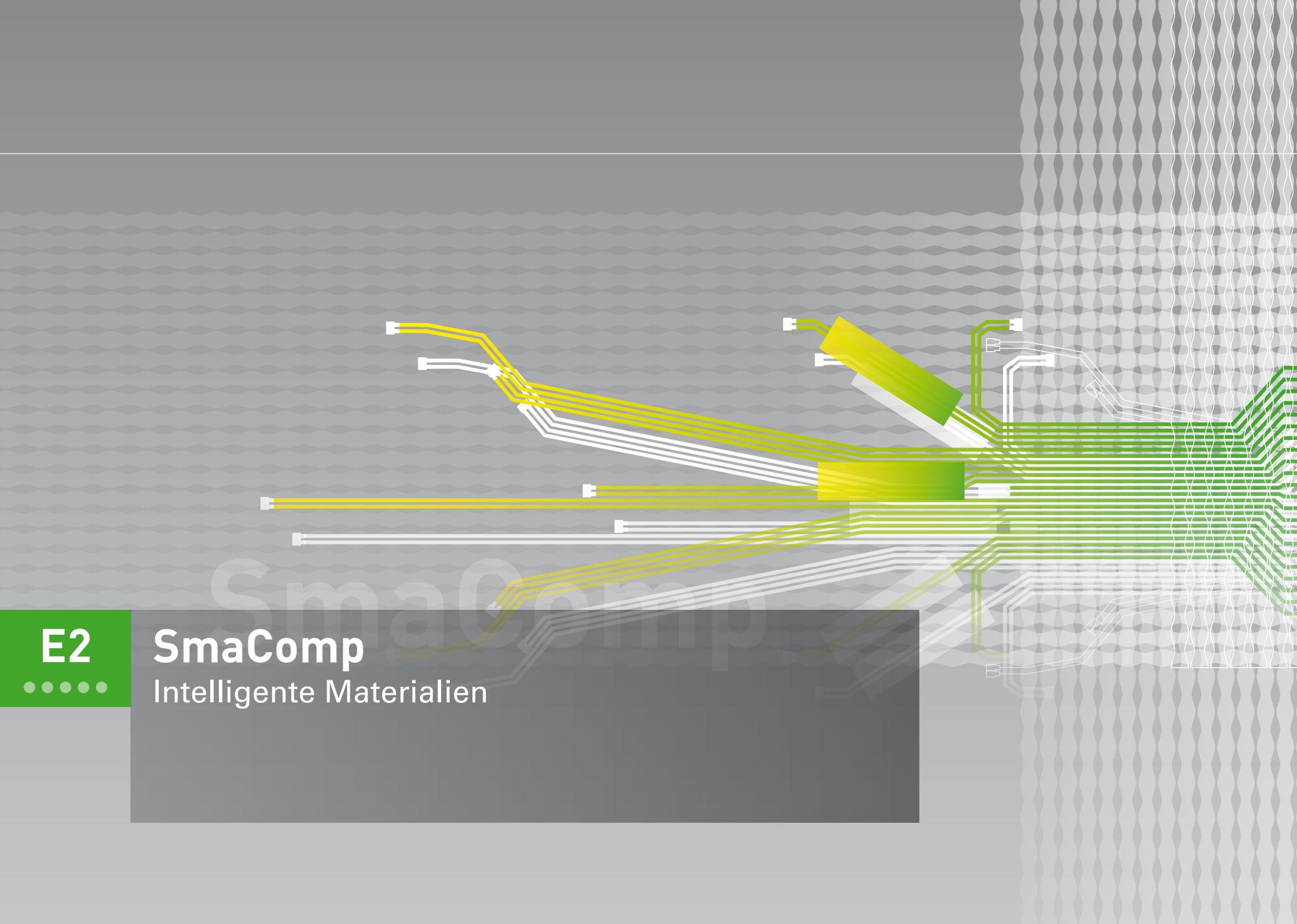
Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann,
TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Werkstofftechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Eigenfeld,
TU Bergakademie Freiberg, Gießerei-Institut

Prof. Dr.-Ing. Uwe Gampe ,
TU Dresden, Institut für Energietechnik

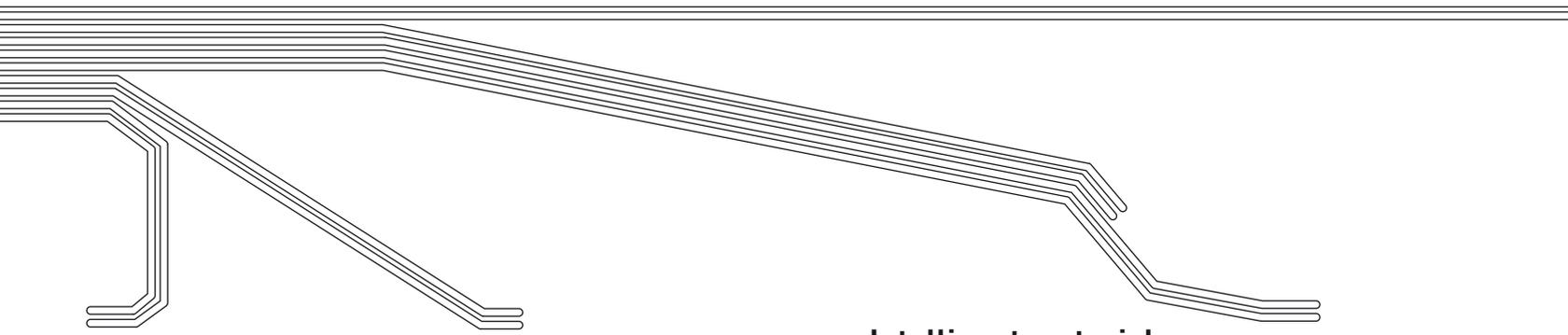
Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens,
TU Dresden,
Institut für Werkstoffwissenschaft,
Fraunhofer IWS Dresden



E2

SmaComp

Intelligente Materialien



Intelligent materials

Living beings have a sophisticated, in-built repair mechanism which sees pain alert them to the location and severity of an injury to their body. That injury is then „repaired“. The ECEMP subproject SmaComp sees scientists mimic this process in a materials science context. Through the integration of sensor and actuator systems into composite materials they are able to develop smart composites, or in other words materials which are able to

- identify defects and
- react to defects.

Material defects are detected by sensors such as strain gauges or identified by researchers with the aid of magnetically inductive impedance. Actuators also integrated into the material react to the fault detected, for example by damping vibration. Nature provides many other examples of useful sensor/actuator systems.

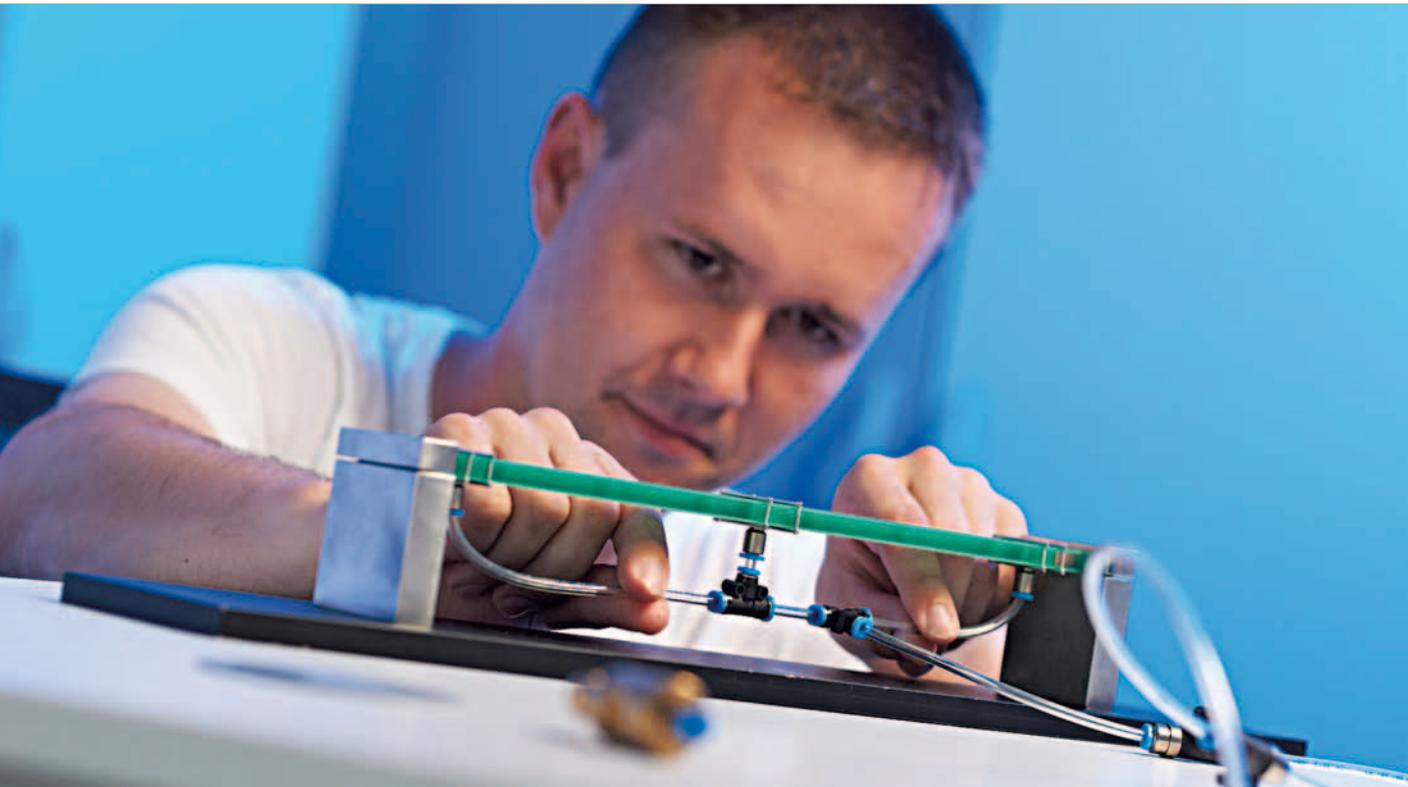
One such example is the papaya plant, which swells and shrinks cells in order to raise and lower its branches. Technology-based mimicry of this effect is possible in the form of hydrogels actuated by pH values.

SmaComp

Development of novel design methods and manufacturing technologies for lightweight components composed of self-diagnostic, self-regulating materials

E2





Entwicklung neuartiger Auslegungsmethoden und Herstellungstechnologien für Leichtbaukomponenten aus selbstdiagnostizierenden und selbstregulierenden Werkstoffen

Lebewesen verfügen über einen ausgeklügelten Reparaturmechanismus. Zunächst zeigt bei Verletzungen auftretender Schmerz den

Ort – und durch seine Intensität – die Schwere der Verletzung an. Anschließend wird „repariert“. Nicht nur Mensch und Tier, auch

◀ *Schwingungsdämpfung: Mittels Druckluft werden die Plattendicke, und damit auch deren Schwingungseigenschaften, gezielt eingestellt.*

Pflanzen können Schäden orten und darauf reagieren. Ein Prozess, den die Wissenschaftler des ECEMP-Teilprojektes SmaComp in der Materialwissenschaft nachahmen. Sie integrieren Sensor- und Aktorsysteme in Kompositwerkstoffe und entwickeln so Smart Composites, Materialien, die

- Störungen erkennen und
- auf Störungen reagieren können.

Störungen auf der Spur

Als Sensoren verwenden die Wissenschaftler unter anderem Dehnmessstreifen (DMS). DMS enthalten Drähte aus einem leitfähigen Material, die das Werkstück durchziehen. Sollte im Bauteil eine Verformung oder ein Riss, etwa durch einen Schlag, auftreten, werden die Drähte gedehnt. Dadurch ändert sich der elektrische Widerstand der Drähte und zeigt so den Ort der Störung an. Auch über die sogenannte magnetisch induktive Impedanz (MI) lassen sich bei elektrisch

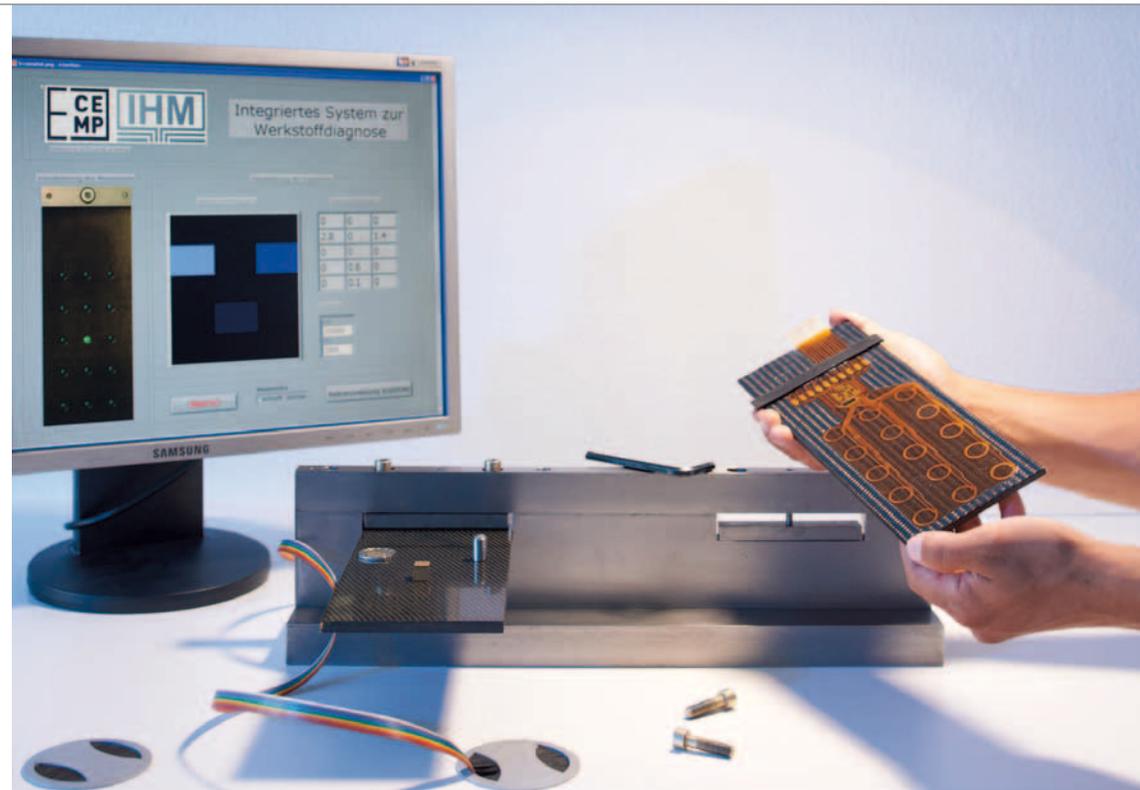
E2



leitenden Materialien Veränderungen aufspüren. Das Verfahren beruht darauf, dass auf das Bauteil ein Magnetfeld wirkt und gleichzeitig die elektrische Antwort des Materials gemessen wird. Treten Störungen im Material auf, ändert sich auch die elektrische Antwort des Werkstoffes.

Kombinieren die Wissenschaftler die Sensoren mit geeigneten Aktoren, kann das Bauteil zusätzlich auf die aktuelle Situation reagieren. Da Vibrationen zu einer zusätzlichen Belastung von Bauteilen führen, können das zum Beispiel versagenskritische Schwingungen sein, die gedämpft werden sollen. Integrieren die Forscher Aktoren in den Werkstoff, die ihrerseits Schwingungen induzieren, lassen sich die Schwingungen reduzieren oder fast vollständig dämpfen.

Darüber hinaus verwenden die Forscher sogenannte elektroaktive Polymere. Diese bestehen aus einem dehnbaren Polymer, auf deren Ober- und Unterseite Elektroden aufgebracht sind. Legt man an die Elektroden eine Spannung an, laden sie sich entgegengesetzt auf und ziehen sich gegenseitig an. Dabei wird das Polymer zusammengedrückt



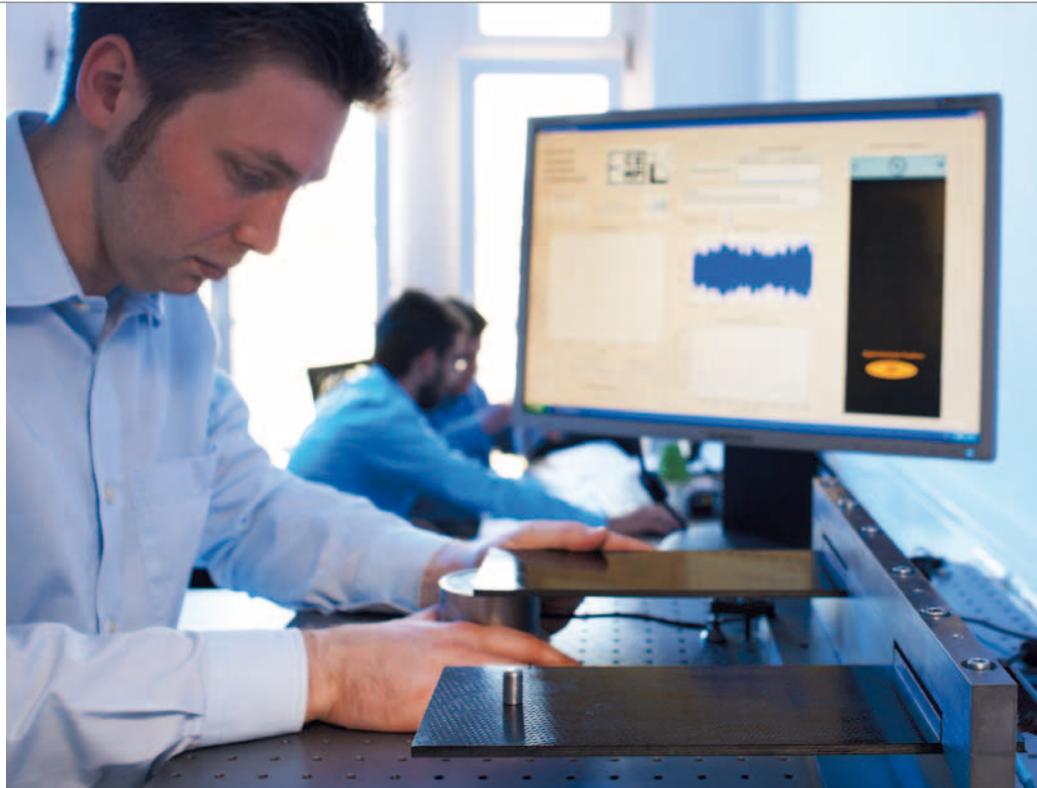
Vorbild Natur

und dehnt sich in der Querrichtung stark aus. Auch elektroaktive Polymere eignen sich zur Dämpfung von Schwingungen. Durch den Dehn- und Entspannungsvorgang ändert sich die Biegesteifigkeit des Bauteils und in der Folge auch seine Eigenfrequenz.

Weiterhin untersuchen die Wissenschaftler die Möglichkeit, Funktionsweisen aus der Natur zu übernehmen und so zu ganz neuen Sensor/Aktor-Systemen zu gelangen. Papayapflanzen beispielsweise besitzen die Eigenschaft, sich ohne aktives Wachstum, durch Aufstellen und Absenken ihrer Zweige,

▲
Detektieren von Materialdefekten über die Magnetisch-Induktive-Impedanz.

Materialdefekte lassen sich über die Schwingungsanalyse detektieren. Aktoren dämpfen die Schwingungen.



jeder veränderten Lage anzupassen. Grund hierfür sind Zellen an den Unterseiten der Zweige, die bei Bedarf quellen oder schrumpfen, wodurch sich die Zweige aufrichten und wieder absenken können. In der Praxis können die Forscher den Effekt imitieren, indem sie mit Hilfe von Hydrogelen Materialien unter pH-Wert-Einfluss quellen oder schrumpfen lassen.

Das größte Anwendungspotential der Smart Composites liegt in Bereichen, in denen Sicherheit besonders im Vordergrund steht oder Wartungen sehr aufwendig sind, wie zum Beispiel im Flugverkehr und bei Windkraftanlagen. Geben Bauteile Auskunft über ihr Befinden, kann der vorsorgliche Austausch von Bauteilen entfallen und Wartungen besser geplant werden.

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
Werner A. Hufenbach,
TU Dresden,
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik,
Holbeinstr. 3, 01307 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 38142
E-Mail: ilk@ilk.mw.tu-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolf-Joachim Fischer,
TU Dresden, Institut für Halbleiter- und
Mikrosystemtechnik,
Fraunhofer IPMS Dresden

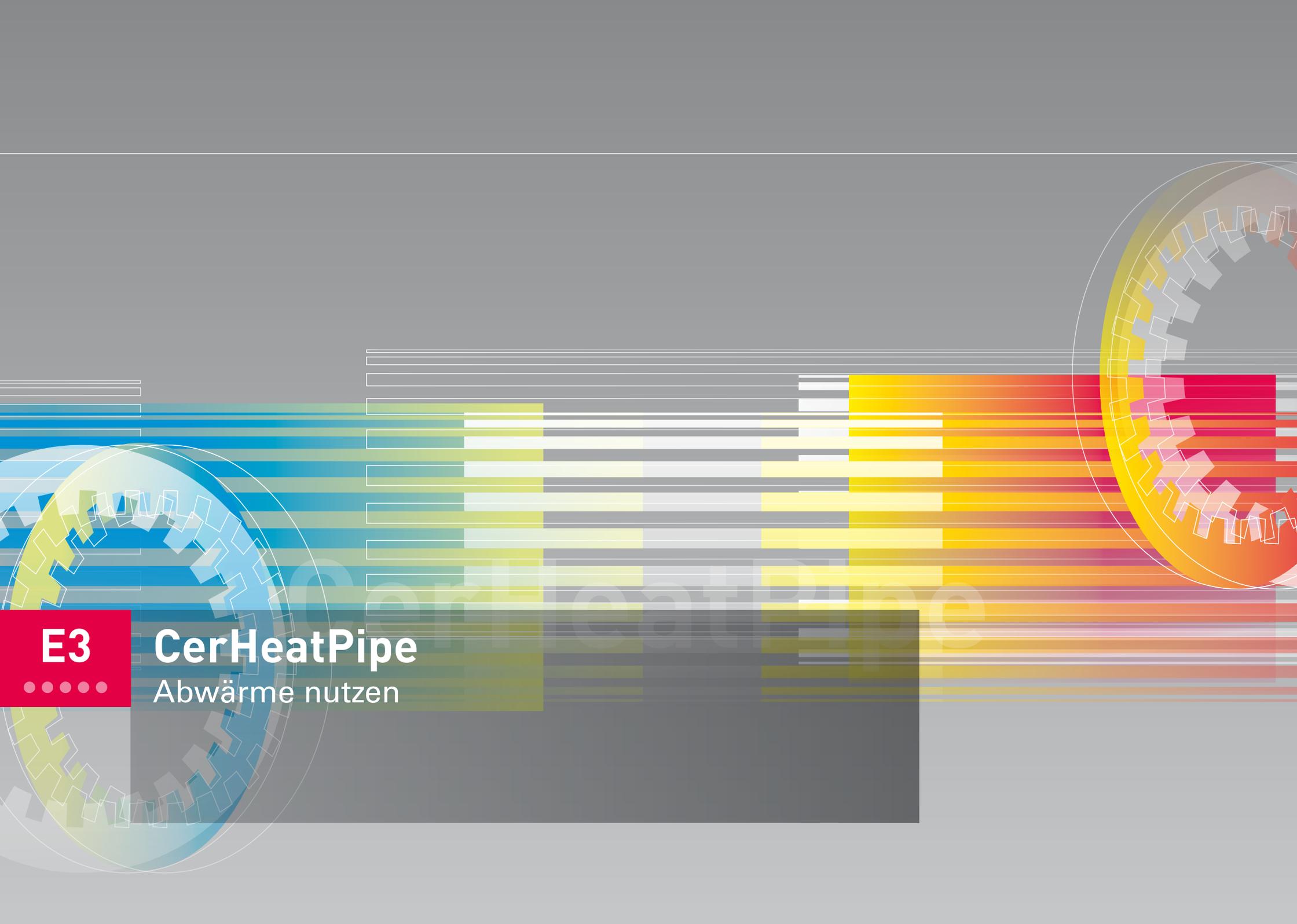
Prof. Dr.-Ing. habil. Gerald Gerlach,
TU Dresden, Institut für Festkörperelektronik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Meinhard Kuna,
TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Mechanik und Fluidodynamik

Prof. Dr. rer. nat. habil. Christoph Neinhuis,
TU Dresden, Institut für Botanik

E2

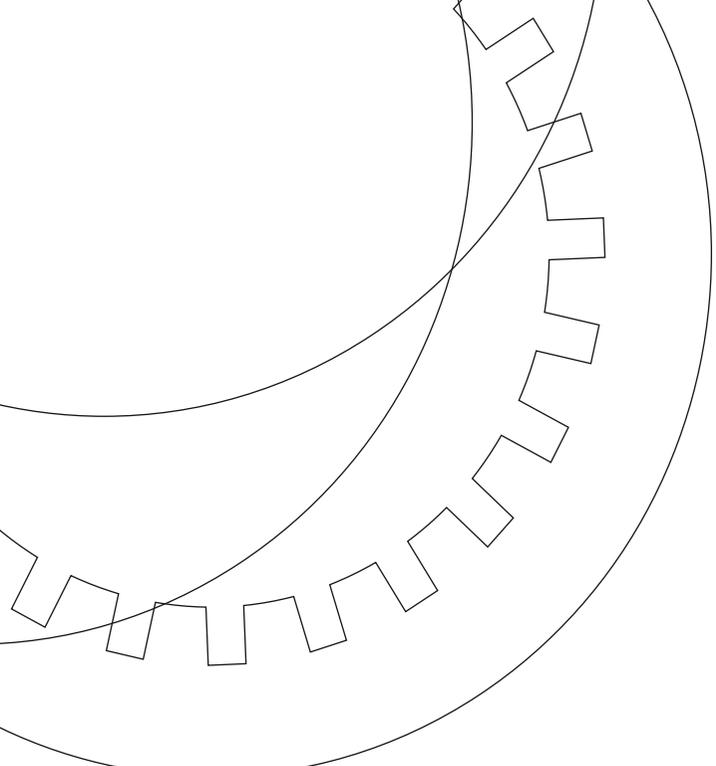




E3

CerHeatPipe

Abwärme nutzen



Using waste heat

Many industrial and incineration processes see waste heat released unused into the environment. This is despite the fact that the heat requirements of some other processes are met by creating additional heat. If waste heat were to be used to fulfil those requirements, this would result in a significant increase in the efficiency of industrial and power generation processes and a considerable decrease in CO₂ emissions.

It is against this backdrop that the scientists participating in the ECEMP subproject CerHeatPipe are developing

- novel ceramic heat exchangers and a jointing solder

- for high temperatures and
- aggressive atmospheres.

Vacuum-sintered silicon carbide (SSiC) is a particularly suitable material for the heat exchangers in view of the high waste gas temperatures involved, which are often accompanied by a highly aggressive gas atmosphere. Specially glass solders and a heat pipe test bench have been developed as part of the subproject as well. Possible large-scale high-temperature applications include biomass incineration and gasification processes and the reuse of waste heat during the iodine-sulphur process used to deliver molecular hydrogen for energy storage purposes.

CerHeatPipe

Development and testing of ceramic heat pipe heat exchangers for high-temperature processes

E3





Entwicklung und Erprobung keramischer Wärmerohr- Wärmeübertrager für Hochtemperaturprozesse

Bei vielen Industrie- und Verbrennungsprozessen entsteht Abwärme auf hohem Temperaturniveau, die ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird. An anderer Stelle hingegen wird Wärme benötigt, die zusätzlich zugeführt werden muss. Gelingt es, die Abwärme umzuleiten und für den Prozess nutzbar zu machen, kann die Effizienz von Industrie- und Kraftwerksprozessen deutlich gesteigert werden. Damit können große Energiemengen eingespart und die CO₂-Emissionen erheblich reduziert werden. Unter diesem Gesichtspunkt entwickeln die Wissenschaftler im ECEMP-Teilprojekt

CerHeatPipe auf Basis der seit den 1940er Jahren bekannten Wärmerohrtechnologie

- neuartige keramische Wärmeübertrager und ein Fügelet für
- hohe Temperaturen und
- aggressive Atmosphären.

Natrium als Arbeitsmedium

Mit Wärmerohren beziehungsweise Heat-pipes lässt sich in einem Kreislauf aus Verdampfung und Kondensation sehr effizient Wärme von einem Ort zum anderen transportieren. Heatpipes sind hermetisch geschlossene, mit einer kleinen Menge Flüssigkeit gefüllte Rohre und werden so installiert, dass sie sich mit einem Ende in einer Region mit höherer, mit dem anderen in einer mit niedrigerer Temperatur befinden. Wenn am heißen Ende im Rohr Flüssigkeit verdampft, müssen die Moleküle Arbeit verrichten, um sich aus dem Flüssigkeitsverband zu lösen. Die dafür nötige Energie erhalten sie aus ihrer Umgebung, indem sie ihr Wärme entziehen. Der Dampf strömt in Richtung der kälteren Region des Rohres, wo er kondensiert und seine aufgenommene Wärme wieder abgibt.

E3



◀ *Wärmerohrversuchsstand zum Testen der Wärmerohre in zwei unterschiedlich temperierbaren, schwenkbaren Öfen.*

Das Kondensat fließt zurück, um abermals zu verdampfen. Ein Zusammenschluss mehrerer, zum Teil bis zu über 1.000 Heatpipes, ergibt einen Wärmerohrwärmeübertrager.

Welches Arbeitsmedium in Frage kommt, hängt sowohl von den thermodynamischen als auch von den strömungstechnischen Eigenschaften des Mediums ab. Aus einer mathematischen Modellierung der thermodynamischen Vorgänge im Wärmerohr und im Wärmerohrwärmeübertrager, hat sich für den angestrebten Arbeitsbereich um 1.000 Grad Celsius Natrium als am besten geeignetes Medium erwiesen.

Heißgasversuchsstand (© Rolls-Royce plc 2011).

Spezialkeramik und Glaslot für hohe Temperaturen

Durch die hohen Abgastemperaturen, häufig verbunden mit einer sehr aggressiven Gasatmosphäre, ist es nicht möglich, Wärmerohre aus Metall zu verwenden. Auf Basis eines Materialscreenings erweist sich drucklos gesintertes Siliciumcarbid (SSiC) als prädestiniert. SSiC hat eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit, eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit und ist selbst für den Einsatz bei Temperaturen bis 1.400 Grad Celsius noch geeignet. Daraus werden zylindrische Halbzuge gefertigt.

Auch das Glaslot zum Verschließen der Rohre muss der hohen Beanspruchung standhalten. Die Forscher haben speziell für diesen Zweck entwickelte oxidische Yttrium/Aluminium/Silizium-Glaslote getestet, die sich für den Einsatz unter den Anwendungsbedingungen der Hochtemperatur-Wärmeübertrager als sehr vielversprechend erweisen. In einem neu konstruierten Wärmerohrversuchsstand mit zwei schwenkbar gelagerten Hochtemperaturöfen überprüfen die Forscher die Funktionsweise und Leistungsfähigkeit der gefertigten Wärmerohre.

E3



◀ *Heißgasversuchsstand. Hier werden die Wärmerohre unter Realbedingungen getestet.*



▲
Einrichtung zur Fertigung der Wärmerohre für den Laserlötprozess im Vakuum.

Für eine erste Erprobung der keramischen Wärmerohrwärmeübertrager in industriellen Anwendungen sind Biomasseverbrennungs- und -vergasungsprozesse vorgesehen. Weitere großtechnische Hochtemperaturappli-

kationen sehen die Forscher bei Erdgasverbrennungsprozessen, der Abwärmenutzung aus Gichtgas- und Kohlefeuerung sowie beim Iod-Schwefelprozess zur Gewinnung von molekularem Wasserstoff als Energiespeicher.

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Michael Beckmann,
TU Dresden, Institut für Energietechnik,
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463 34493
E-Mail: michael.beckmann@tu-dresden.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. Uwe Gampe,
TU Dresden, Institut für Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Antonio Hurtado,
TU Dresden, Institut für Energietechnik

E3



ECEMP- Vom Atom zum komplexen Bauteil

	Projektbereiche				
	Struktur/Eigenschafts-Beziehungen, Grenzflächen- und Grenzschichtdesign ●	Material- und Halbzeug-Entwicklung ●●	Urformen, Umformen, Fügen, Trennen ●●●	Beschichtungs- und Oberflächentechnik ●●●●	Funktionsintegration, Bauteil-auslegung, Qualitätssicherung ●●●●●
metallintensiv	A1 ●	B1/B2 ●●	C1 ●●●	D1 ●●●●	E1 ●●●●●
polymerintensiv	A2 ●	B4 ●●	C2 ●●●	D2 ●●●●	E2 ●●●●●
keramikintensiv	A2 ●	B3 ●●	C3 ●●●	D1 ●●●●	E3 ●●●●●

Innovative Produkte aus funktions-integrierenden Mehrkomponentenwerkstoffen



Impressum

Technische Universität Dresden

ECEMP – European Centre for Emerging
Materials and Processes Dresden
Marschnerstraße 39, 01307 Dresden
Tel. +49 (0)351 463 38446
Fax: +49 (0)351 463 38449
E-Mail: ecemp@tu-dresden.de
Web: <http://ecemp.tu-dresden.de>

Herausgeber/Ansprechpartner

Sprecher
Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.
Werner A. Hufenbach

Geschäftsführung
Dr. rer. nat. Günter E. Burkart

Layout und Grafik

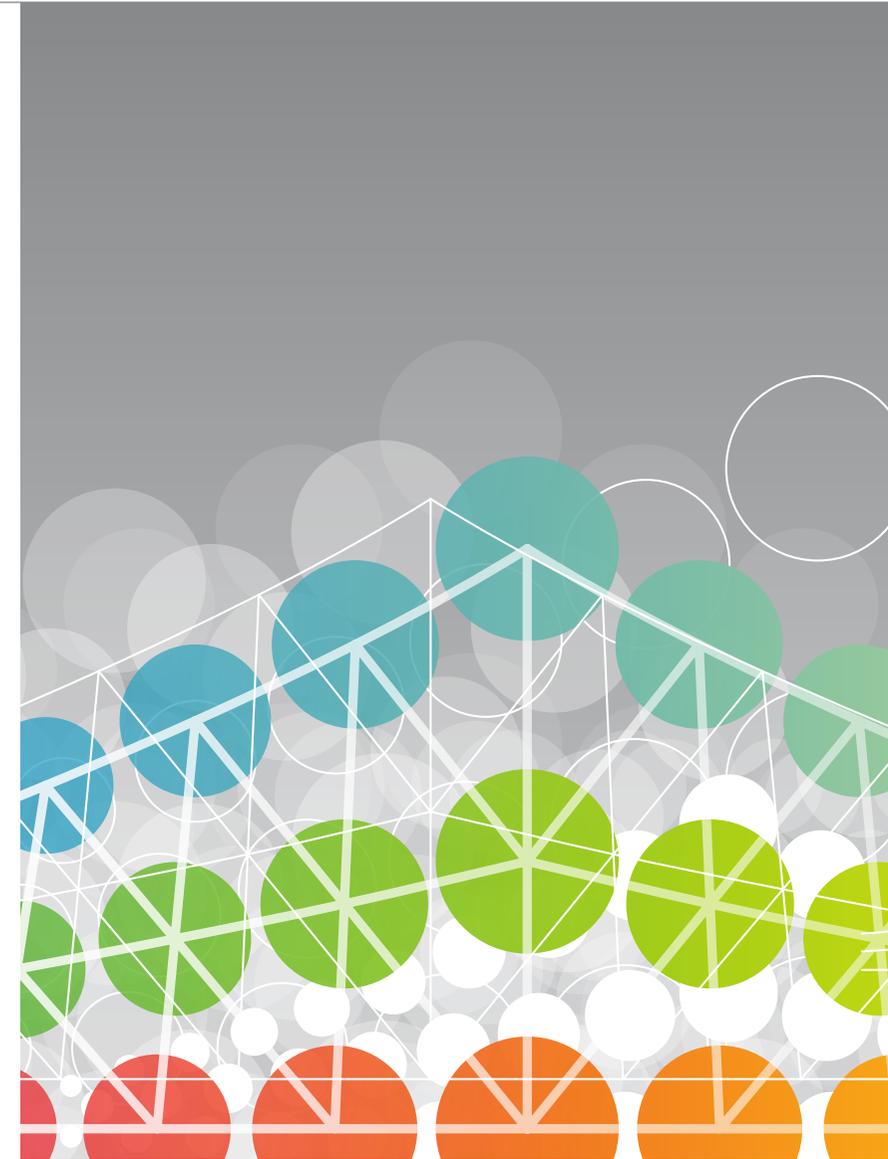
amareco GmbH
Martin Kutsche

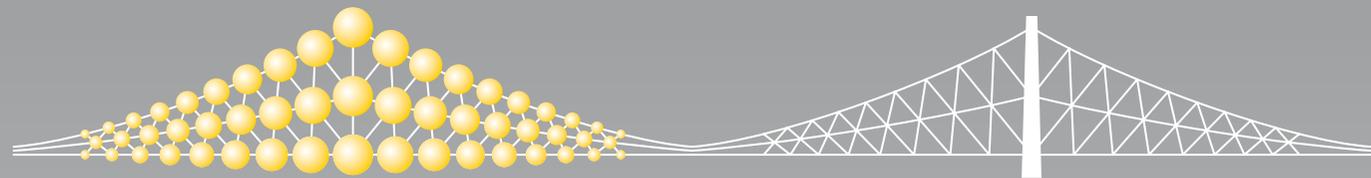
Bilder

Fotograf Jürgen Jeibmann

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Dresden, September 2012





ECEMP – VOM ATOM ZUM KOMPLEXEN BAUTEIL

ECEMP-Geschäftsstelle

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Telefon: +49 (0)351 463 38446

Fax: +49 (0)351 463 38449

Web: <http://ecemp.tu-dresden.de>

E-Mail: ecemp@tu-dresden.de

Sprecher

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c.

Werner A. Hufenbach

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik,
TU Dresden