



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

**FOKUS**  
Energie-  
technik



N° 1 · 2018

**lab<sub>2</sub>industry**

Chemische Technik // Biotechnologie // Werkstoffe

DECHEMA-Forschungsinstitut  
Stiftung bürgerlichen Rechts

Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main  
Germany

TEL +49 (0) 69 7564 337  
FAX +49 (0) 69 7564 388

dfi@dechema.de  
www.dechema-dfi.de

VORSTAND  
Prof. Dr. Jens Schrader

SITZ DER STIFTUNG  
Frankfurt am Main

REDAKTION  
Diana Tabor  
Prof. Dr. Jens Schrader (V.i.S.d.P.)

Nachdruck – auch auszugsweise – nur  
mit Genehmigung des Herausgebers.



Prof. Dr. Jens Schrader,  
Vorstand des DEHEMA-  
Forschungsinstitutes

*Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Freunde des DEHEMA-Forschungsinstituts,*

*Das Thema »Energie« geht uns alle an. Dies betrifft die Zukunft der Mobilität und Energiewirtschaft genauso wie die Wandlung der Prozessindustrie zu nachhaltigen Verfahren und Produkten. Dabei stehen die Unternehmen vor großen Herausforderungen, um die hochgesteckten Ziele zu erreichen und gleichzeitig wettbewerbsfähig zu bleiben. Am DFI unterstützen wir die Suche nach neuen Konzepten und Lösungen, von grundlegenden bis anwendungsnahen Fragen. Zu unseren Themen zählen beispielsweise Metall-Luft-Batterien, Brennstoffzellen und solarthermische Kraftwerke. Auch die sogenannte »Mikrobielle Elektrosynthese« interessiert uns, bei der Bakterien regenerativen Strom und CO<sub>2</sub> in Wertstoffe umwandeln.*

*Dies sind nur einige Beispiele aus unserer Forschung im Bereich Energietechnik. Sie finden auf den folgenden Seiten noch mehr davon, erkennbar an der Fokus-Kennzeichnung. Weitere Beiträge aus unserer fachlichen Heimat – dem Dreieck Chemische Technik, Biotechnologie und Werkstoffe – ergänzen den Inhalt der aktuellen Ausgabe.*

*Mit unserem neuen Magazin **lab<sub>2</sub>industry** nehmen wir Sie mit auf einen Rundgang durch unsere Labore. Auf diese Weise informieren wir Sie künftig zweimal jährlich über aktuelle Forschungsarbeiten an unserem Institut. Nutzen Sie die Kontaktadressen und weiterführenden Links, um mit uns in den Dialog zu treten. Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldung.*

*Im Namen des gesamten DFI-Teams wünsche ich Ihnen viel Spaß beim Lesen dieser Ausgabe!*

*Ihr*

JENS SCHRADER



**UMSCHLAG** Das Solarturmkraftwerk PS20 ist zur Zeit Europas größtes kommerzielles Solarkraftwerk mit einer Nennleistung von 20 MW. Die Einweihung erfolgte 2009 in der Ebene von Sanlúcar la Mayor in der Nähe von Sevilla in Andalusien.

#### **BILDNACHWEIS**

*iStockphoto: lubri (Umschlag), leonori (S.6), art-skvortsova (S.16), sanjeri (S.26) · Fotolia: Werner (S.4), Stadtblick Stuttgart (S.12), detshana (S.22) · Bright Source Industries (Israel) Ltd. (S.9), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (S.9), [www.siemens.com/press](http://www.siemens.com/press) (S.19), EUROCORR (S.28), Jose Poblete (S.1), Caplio RR30 User (S.8), Dr. Ali Soleimani-Dorcheh (S.20/21), Dr. Jonathan Bloh (S.24) · Alle anderen: DECHEMA-Forschungsinstitut.*

#### **GESTALTUNG**

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten  
[www.lindner-steffen.de](http://www.lindner-steffen.de)

1

**EDITORIAL**

JENS SCHRADER

## Grenzenlos //

4

ZUKUNFTSTRÄCHTIG

**STROM AUS ABWASSER  
UND BIOKRAFTSTOFFE  
AUS CO<sub>2</sub>**

MARKUS STOECKL

## Partnerschaftlich //

6

BIOTECHNOLOGIE

**AROMaplus**

MARKUS BUCHHAUPT

8

RAISELIFE

**SCHUTZSCHICHTEN  
FÜR SOLARKRAFTWERKE**

DIANA FÄHSING

FOKUS

## Gesellschaftlich //

10

ENDOPROTHESEN

**VERBESSERTE  
BIOKOMPATIBILITÄT  
VON TITANWERKSTOFFEN**

STEPHAN LEDERER

FOKUS

12

STICKOXIDBEKÄMPFUNG

**MIT SONNENLICHT**

JONATHAN BLOH

## Angewandt //

14

VOKOS

**KORROSIONSMECHANIEN**

MATHIAS GALETZ

FOKUS

FOKUS

**ENERGIETECHNIK**

## Technologisch //

16

ELEKTROWIRBEL

KLAUS-MICHAEL MANGOLD

17

SPURENSTOFFE

**ELEKTROCHEMISCH  
ABBAUEN**

KLAUS-MICHAEL MANGOLD

18

EFFIZIENZ-STEIGERUNG

**NEUE WÄRMEDÄMM-  
SCHICHTEN FÜR FLUGZEUG-  
UND GASTURBINEN**

MARIO RUDOLPHI

FOKUS

20

LET IT FLOW

**REDOX-FLOW-  
TECHNOLOGIEN**

CLAUDIA WEIDLICH

FOKUS

## Spezialisiert //

22

MEILENSTEIN IN

DER GDE-ENTWICKLUNG

**3.000 STUNDEN OHNE  
POTENZIALVERLUST**

JEAN-FRANCOIS DRILLET

FOKUS

24

EINE ELEKTRISCH

WIEDERAUFLADBARE

**ZINK/LUFT-ZELLE MIT  
IONIC LIQUID ELEKTROLYTEN**

JEAN-FRANCOIS DRILLET

FOKUS

## Bildend //

26

JANUAR – JUNI 2018

**WEITERBILDUNGS-  
KURSE**

28

INTERN

A close-up photograph of water splashing into a pool, creating a dynamic and energetic scene. The water is captured in mid-air, forming a series of curved streams that fall into a pool of water below. The background is a soft, out-of-focus blue, suggesting a large body of water or a sky. The overall tone is clean and fresh, with a strong emphasis on the natural element of water.

# ZUKUNFTSTRÄCHTIG STROM AUS ABWASSER UND BIOKRAFTSTOFFE AUS CO<sub>2</sub>

Markus Stoeckl  
› [stoeckl@dechema.de](mailto:stoeckl@dechema.de)

*Industrielle Biotechnologie und Elektrochemie machen gemeinsame Sache.*

Fachübergreifend wird seit über 10 Jahren am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) durch die beiden Arbeitsgruppen Industrielle Biotechnologie und Elektrochemie an der Elektrifizierung biotechnologischer Prozesse geforscht.

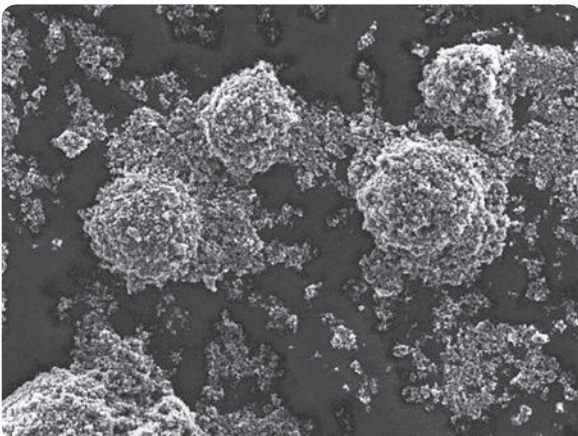
Unter der Leitung von Dr. Dirk Holtmann und Dr. Klaus-Michael Mangold arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, mit sogenannten bioelektrochemischen Systemen Strom aus Abwässern zu gewinnen oder Biokraftstoffe und Basischemikalien aus CO<sub>2</sub> zu synthetisieren.

In mikrobiellen Brennstoffzellen kann Abwasser mit der Hilfe von Bakterien gereinigt werden, Strom produziert und so der Energiebedarf von Kläranlagen deutlich verringert werden (anodischer Prozess). In einem bereits abgeschlossenen Projekt konnte eine Mikrobielle Brennstoffzelle unter Realbedingungen in einer Kläranlage in Braunschweig getestet werden, wobei kommunales Abwasser gereinigt und Strom produziert wurde.

Darüber hinaus wird seit einigen Jahren an der Mikrobiellen Elektrosynthese von Biokraftstoffen und Basischemikalien in bioelektrochemischen Systemen geforscht (kathodischer Prozess). Dabei wird Strom aus erneuerbaren Energiequellen über eine Elektrode auf Bakterien übertragen, die dann vorzugsweise CO<sub>2</sub> katalytisch umsetzen. Zwei der am DFI hergestellten Produkte aus Strom und CO<sub>2</sub> sind Methan und Isopropanol [Sydow et al. 2017].

**OBEN** Entwickelte Analysenplattform für mikrobiologische Oberflächenprozesse

**UNTEN** Rasterelektrodenaufnahme einer Elektrode



### Literaturhinweis

- › Stöckl, M.; Schlegel, C.; Sydow, A.; Holtmann, D.; Ulber, R.; Mangold, K.-M., 2016. Membrane Separated Flow Cell for Parallelized Electrochemical Impedance Spectroscopy and Confocal Laser Scanning Microscopy to Characterize Electro-Active Microorganisms. *Electrochimica Acta*, Vol. 220, , pp. 444–452.
- › Sydow, A.; Krieg, T.; Ulber, R.; Holtmann, D., 2017. Growth medium and electrolyte – How to combine the different requirements on the reaction solution in bioelectrochemical systems using *Cupriavidus necator*. *Engineering in Life Sciences*, Vol. 17, Issue 7, pp. 781–791.

### Biofilme detektieren

Um Elektronen mit einer Elektrode auszutauschen, besiedeln viele der »elektroaktiven« Bakterien direkt die Elektrodenoberfläche und formen dort hydrierte polymere Zellaggregate, sogenannte »Biofilme«. Zur genaueren Beobachtung dieses Prozesses wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Kaiserslautern (Prof. Roland Ulber) eine Durchflusszelle entwickelt, in der Biofilme simultan mikroskopisch und elektrochemisch detektiert werden können [Stöckl et al. 2016].

Durch eine transparente Elektrode aus Indiumzinnoxid kann das bakterielle Anheften an dieser Elektrode mit einem Mikroskop visualisiert werden, ohne das Wachstum dabei zu beeinflussen. Parallel dazu werden mittels Impedanzspektroskopie die oberflächenassoziierten Prozesse, wie zum Beispiel der Transfer von Elektronen, elektrochemisch vermessen. Die entwickelte Analysenplattform bietet die Möglichkeit, eine Vielzahl mikrobieller Prozesse an Oberflächen zu analysieren.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist das zentrale Merkmal des DECHEMA-Forschungsinstituts und Ausgangspunkt aller Entwicklungen im Bereich bioelektrochemischer Systeme. Mit dem Ziel, die Industrialisierung dieser Systeme voran zu bringen, forschen Biotechnologen und Elektrochemiker weiter gemeinsam an diesem zukunftssträchtigen Querschnittsthema. //

# BIOTECHNOLOGIE

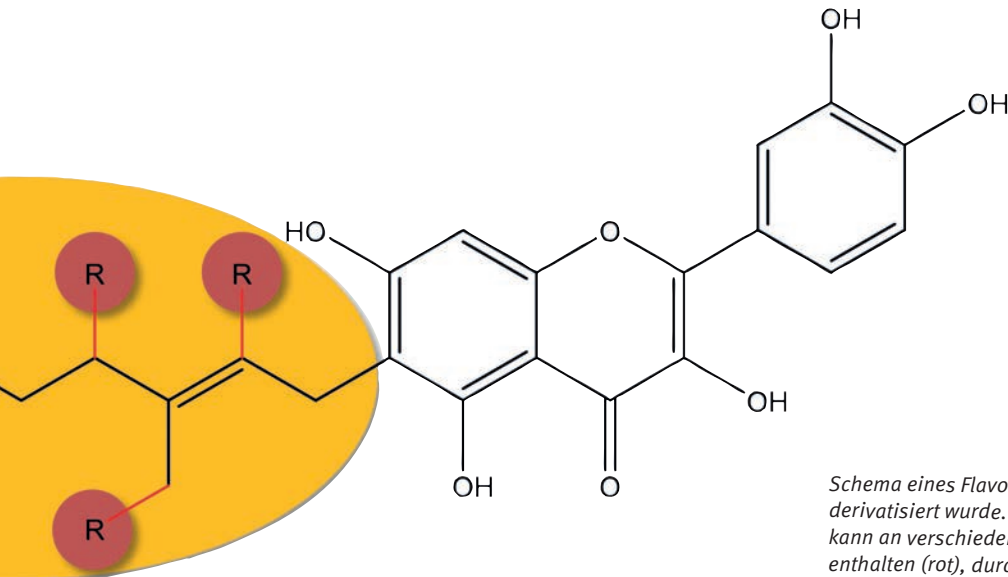
## AROMaplus

Dr. Markus Buchhaupt  
> buchhaupt@dechema.de



*Vom Wein- und Obstbau zur industriellen Biotechnologie – diese Brücke zu schlagen, ist das Ziel des DFI in einem neuen Großvorhaben, das am 1. Januar 2018 an den Start gegangen ist. In Kooperation mit der Hochschule Geisenheim und der Justus-Liebig-Universität Gießen forschen die Biotechnologen des DFI daran, mit Mikroorganismen und Enzymen neue Wertschöpfungsketten ausgehend von pflanzlichen Rohstoffen aus dem Wein- und Obstbau aufzubauen. Dabei geht es unter anderem um die Synthese von Aroma- und funktionalen Inhaltsstoffen für verbesserte Nahrungsmittel, Kosmetika und Pharmazeutika.*





Schema eines Flavonoids, das mit einer Prenyltransferase derivatisiert wurde. Die Geranylseitenkette (orange) kann an verschiedenen Positionen Modifikationen enthalten (rot), durch die die Eigenschaften des Moleküls moduliert werden können.

Aromastoffe sind wichtige Produkte für ganz unterschiedliche Wirtschaftszweige – ob aus natürlichen Quellen wie ätherischen Ölen gewonnen oder als chemisch synthetisierte Reinstoffe. In den Lebensmittel- und Kosmetik-Branchen sind zudem funktionale Inhaltsstoffe auch abseits der Aromen, aber mit z.B. gesundheitsfördernder Wirkung, wichtige Bestandteile vieler Erzeugnisse. Biotechnologische Verfahren spielen bei der Herstellung solcher Aromen und anderer funktionaler Inhaltsstoffe eine wichtige Rolle, beispielsweise bei der klassischen Weingärung mit Zuchthefen oder der fermentativen Herstellung von natürlichen Konservierungsmitteln für Kosmetikprodukte.

### Lange Tradition in der Biotechnologie

Aufgrund der langen Tradition des DFI in der Biotechnologie der Aromastoffe ist es nicht überraschend, dass das Institut Mitinitiator des vom Land Hessen geförderten LOEWE-Schwerpunkts AROMAplus ist. Die Projekte des Schwerpunkts starteten im Januar 2018, haben eine Laufzeit von vier Jahren und werden in enger Zusammenarbeit mit zwei Partnern durchgeführt: dem Institut für Mikrobiologie und Biochemie der Hochschule Geisenheim und dem Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie der Justus-Liebig-Universität Gießen. Mit den spezifischen Expertisen im Reben- und Obstbau, in komplexer Analytik, Biochemie, Metabolic Engineering und in Bioverfahrenstechnik ist damit ein komplementärer und einzigartiger Verbund geschaffen, der neue Wertschöpfungsketten ausgehend von pflanzlichen Rohstoffen der heimischen Wirtschaft aufzeigen und in die Umsetzung bringen will.

### Drei Bereiche im Fokus des DFI

› Die Mikroorganismen, die die Oberflächen von Weintrauben und anderem Obst besiedeln, spielen

teilweise eine wichtige Rolle bei der Aromen-Bildung bzw. deren Freisetzung. Solche Mikroorganismen werden gezielt hinsichtlich ihres Einsatzes in Getränke-Herstellverfahren sowie auf interessante Enzyme und Inhaltsstoffe durchmustert. Das DFI wird dabei seine Expertise in entsprechenden Screening und Analytik-Methoden, auch mittels spezifischer Isotopenmarkierungs-Techniken, einsetzen und weiterentwickeln.

› Viele Naturstoffe erhalten durch eine Prenylierung, d.h. einer Enzym-katalysierten Übertragung einer Isoprenoid-Kette, einen hydrophoben Molekülteil, der unter anderem die Membrangängigkeit erhöht. Um z.B. antioxidative Naturstoffe aus heimischen Obstprodukten auf diese Weise gezielt modifizieren und damit ihren Transport über Zellmembranen beeinflussen zu können, konstruiert das DFI eine Sammlung von Zell-basierten Prenylierungs-Katalysatoren. Dabei kommen die kürzlich im Institut entwickelten ungewöhnlichen Prenylketten zum Einsatz, die maßgeschneiderte Modifikationen von Molekülen möglich machen.

› Nahrungsmittel waren in der Menschheitsgeschichte im Hinblick auf ihre Inhaltsstoffe oft an die Bedürfnisse der Konsumenten angepasst. Um eine für moderne Ernährungsformen optimale Nährstoffversorgung zu ermöglichen, bietet sich die Verwendung bestimmter, lebensmitteltauglicher (»food grade«) Mikroorganismen im Herstellprozess an. Das DFI will hier seine Erfahrung bei der Produktion bestimmter Inhaltsstoffe nutzen, um in Zusammenarbeit mit den Partnern die Grundlagen für die Herstellung entsprechender Nahrungsmittel zu schaffen und diese in die Anwendung zu bringen. //



# RAISELIFE SCHUTZSCHICHTEN FÜR SOLAR- KRAFTWERKE

Dr. Diana Fähsing  
> [faehsing@dechema.de](mailto:faehsing@dechema.de)

*Aufgrund des weltweit steigenden Energiekonsums und den bereits deutlich spürbaren Folgen des Klimawandels ist es notwendig, alternative umweltfreundliche Technologien der Energieerzeugung weiterzuentwickeln und effizient einsetzen zu können. Solarturmkraftwerke bieten das Potential, umweltfreundliche Solarstrahlung zu bündeln und in Wärme bzw. Strom umzuwandeln.*

Hier setzt das über Horizon 2020 geförderte EU-Projekt RAISELIFE («Raising the Lifetime of Functional Materials for CSP Technology») an. Der Schwerpunkt des Forschungsprojektes liegt in der Weiterentwicklung von Materialien für konzentrierte Solarkraftwerke, damit diese nicht nur effizienter, sondern zugleich kostengünstiger in der Lage sind, Energie zu speichern und 24 Stunden am Tag Strom liefern zu können. Um diese Ziele zu erreichen, haben sich in dem Projekt Firmen und Forschungsstellen aus sechs Ländern zusammengeschlossen, um ihre jeweilige Expertise in das Projekt einzubringen. Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern bietet dabei ein großes Potential, da verschiedenste Eigenschaften der Beschichtungen bei den unterschiedlichen Partnern getestet werden.

Die Arbeitsgruppe Hochtemperaturwerkstoffe des DECHEMA-Forschungsinstituts (DFI) entwickelt im Projekt Diffusionsschichten für den sogenannten Absorber des Solarturms, auf den die Sonnenstrahlung mittels Parabolspiegeln gebündelt wird. Dabei wird zwischen der Außenseite der Rohre, die zur Sonne gewandt sind, und der Innenseite, die das Speichermedium enthält, unterschieden. Die Anforderungen an den Werkstoff und die jeweilige Beschichtung sind dabei vielfältig. Die Außenseite der Rohre muss zu allererst ein hohes Absorptionspotenzial im Spektralbereich des Sonnenlichts aufweisen, so dass die Energie optimal genutzt und nach innen an das Speichermedium übertragen werden kann. Dies bringt neben der guten Korrosionsbeständigkeit in den jeweiligen Medien neue Herausforderungen. Für den Absorber müssen

# RAISELIFE



**OBEN** Das Solar Energy Development Center (SEDC) der Firma BrightSource in der Negev Wüste (Israel) ist eine funktionsfähige Demonstrationsanlage

**LINKS** Solare Testanlage von Promes-CNRS, Odeilo, Frankreich



Im DFI entwickelte Absorber-Beschichtung auf einer schützenden Diffusionszone  
 — 20 µm



Solare Außentestanlage des Instituts für Solarforschung vom DLR auf der Plataforma Solar de Almería in Südspanien

die Schichten neben den Temperaturen von bis zu 650°C auch Kälte und Kondensation (nachts teilweise unter dem Gefrierpunkt), tägliche zyklische Belastung, Sandstürme und Salzkorrosion (Salz im Sand oder in Meeresnähe), bei gleichzeitig guten optischen Eigenschaften, überstehen. Realisiert werden 2-stufige Prozesse, bei denen zuerst eine Haftvermittlerschicht auf Basis von Elementen wie Mangan, Chrom oder Aluminium zur Steigerung der Oxidationsbeständigkeit aufgebracht wird und im Anschluss eine funktionale Beschichtung auf Silikatbasis mit Zugabe von Pigmenten und Hilfsstoffen zur Verbesserung der Absorptions- und Emissionseigenschaften. Diese Schichten werden von den verschiedenen Projektpartnern extremen Tests unterworfen. Dafür stehen z.B. in Almeria (Südspanien) beim Partner DLR Expositionsanlagen im Freien, so dass die Beständigkeit der Proben unter direkter Sonneneinstrahlung, Wind, Regen sowie Sand getestet werden kann. Am DFI werden die Schichten auf ihre Hochtemperaturbeständigkeit unter isothermen und zyklischen Fahrweisen getestet.

Im Inneren der Rohre befindet sich das Transport- und Speichermedium (Dampf oder Salz), welches die erzeugte Wärme in einen Wärmetauscher überträgt und über eine Turbine in elektrische Energie umgewandelt wird. Sogenanntes Solarsalz, welches hauptsächlich aus Natrium- und Kaliumnitrat besteht, steigert die Effizienz einer Anlage und ist die Basis für die Speicherfähigkeit im Vergleich zu Wasserdampf. Untersuchungen am DFI konnten zeigen, dass gleichzeitig aber weitaus größere Korrosionsprobleme

auftreten. Dies macht eine Schutzschichtentwicklung für die eingesetzten Werkstoffe zwingend notwendig. Ziel ist, die Haftvermittlerschicht, die für die Außenseite nötig ist, so zu designen, dass sie zusätzlich zur Bildung einer stabilen Schutzschicht auf der Innenseite führt und industriell gleichzeitig aufgebracht werden kann. Auch diese Schichten werden am DFI und bei zwei weiteren Projektpartnern untersucht und sollen gegen Ende des Projekts im Jahr 2020 bereits in Anlagen, die vom Projektpartner BrightSource gerade in China und Dubai gebaut werden, zum Einsatz kommen. //

## Koordination

› Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

## Projektpartner

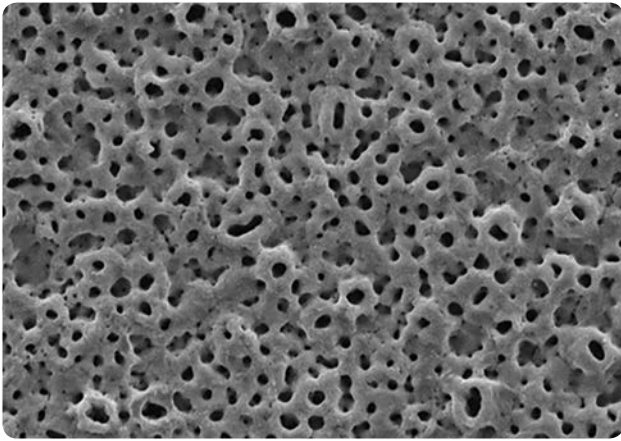
- › BrightSource Industries (Israel) Ltd.
- › Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
- › Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
- › Moroccan Foundation for Advanced Science, Innovation and Research
- › Centre de la Recherche Scientifique
- › Procedes, Matériaux et Energie Solaire
- › Universidad Complutense de Madrid
- › Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
- › Laterizi Gambettola srl (SOLTIGUA)
- › Vallourec
- › The Hebrew University of Jerusalem



# ENDOPROTHESEN VERBESSERTE BIOKOMPATIBILITÄT VON TITAN- WERKSTOFFEN

Dr. Stephan Lederer  
› [lederer@dechema.de](mailto:lederer@dechema.de)

*In vielen Industrienationen steigt die Anzahl der Patienten mit künstlichen Hüft- und Knieendoprothesen. Allein in Deutschland kommen auf 10.000 Einwohner jährlich ca. 300 Hüft-Implantationen.*



REM-Aufnahme einer Titan-Oberfläche, hergestellt mittels Plasmaelektrolytischer Oxidation unter Verwendung eines Schwefelsäure-Phosphorsäure-Elektrolyten und eines Calciumphosphat-haltigen Elektrolyten.

← 20 µm

Titanwerkstoffe werden seit etwa 30 Jahren in diesem Bereich der Osteosynthese eingesetzt. Sie kombinieren eine hohe Festigkeit mit einer vergleichsweise geringen Steifigkeit, was die Gefahr der Implantatlockerung oder des Implantatbruchs minimiert. Zudem sind Titanlegierungen wegen ihrer schützenden und rissfreien Titanoxidschicht biokompatibel und besitzen eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

### Einsatz von Titanimplantaten

Der Einsatz von Titanimplantaten in der modernen Medizintechnik ist daher unverzichtbar. Die verwendeten Materialien unterliegen einem Verschleiß, wodurch es zur Bildung und Ablagerung von Abriebpartikeln kommt. Durch das Einwirken dieser Verschleißkörper auf den Werkstoff kann es dann zum Abrieb der schützenden  $\text{TiO}_2$ -Passivschicht kommen, was schließlich sogar zum Abstoßen eines Implantats führen kann. Zudem können bei einer Beschädigung der Oxidschicht auch zelltoxische Legierungselemente wie Aluminium oder Vanadium in den Blutkreislauf gelangen.

### Funktionalisieren der Oberfläche

Daher ist es von großer Bedeutung, die Oberfläche des Werkstoffs entsprechend zu funktionalisieren. Zum einen ist es von Vorteil, in Bereichen dieser hohen tribologischen Beanspruchungen eine verschleißresistente  $\text{TiO}_2$ -Schicht einzustellen, bzw. für eine verbesserte Osseointegration, also das Anwachsen des Implantats an den Knochen, calciumhaltige Schichten zu erzeugen. Hierzu wurden am DECHEMA-Forschungsinstitut funktionale keramische Schichten auf der biomedizinischen Titanlegierung  $\text{Ti}_{13}\text{Nb}_{13}\text{Zr}$  entwickelt. Dabei wurde die Technik der plasmaelektrolytischen Oxidation (PEO) angewandt

und der Einfluss der elektrischen Parameter (Stromstärke, Flächenladungsdichte, Spannung, Duty Cycle, Repetitionsrate) sowie der chemischen und physikalischen Parameter (Elektrolytzusammensetzung und -konzentration, Temperatur) auf die Schichteigenschaften untersucht.

### Charakterisierung der Oxidschichten

Die erzeugten Oxidschichten wurden hinsichtlich der Korrosionseigenschaften, der Schichtmorphologie, der erzeugten Phasen sowie der Verschleißseigenschaften charakterisiert. Die plasmaelektrolytische Oxidation von Titanwerkstoffen ermöglicht es, eine schützende Schicht auf der Oberfläche zu erzeugen, deren Dicke und Morphologie über einen weiten Bereich eingestellt werden kann. Die keramischen Schichten bestehen im Wesentlichen aus den Titanoxiden Rutil und Anatas, deren Zusammensetzung über einen weiten Bereich gezielt eingestellt werden kann. Die Korrosionsbeständigkeit ist gegenüber dem unbehandelten Grundwerkstoff um mindestens eine Größenordnung verbessert.

### Um Faktor 4 härter

Die mechanischen Eigenschaften wie Schichthärte und Elastizitätsmodul können durch die Zugabe keramischer Partikel aus Aluminium- oder Zirkonoxid nochmals deutlich gesteigert werden. Die so erzeugten Schichten übertreffen die Härte des Grundwerkstoffs um einen Faktor 4. Durch den Einsatz eines Calcium und Phosphor enthaltenden Elektrolyten kann das zum Knochenaufbau wichtige Mineral Hydroxylapatit auf der Titanoberfläche gebildet werden. Die gezielte Oberflächenmodifizierung von Titanlegierungen kann somit dazu beitragen, die Biokompatibilität eines Implantats deutlich zu verbessern. //

# STICKOXIDBEKÄMPFUNG MIT SONNENLICHT

Dr. Jonathan Bloh  
> [bloh@dechema.de](mailto:bloh@dechema.de)

*Trotz Filtersystemen und Abgas-Katalysatoren ist die Luft in vielen Städten und Ballungsräumen weiterhin mit vielen Schadstoffen belastet. Insbesondere Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) bedrohen unsere Luftqualität und damit unsere Gesundheit. Seit dem Jahr 2010 gelten europaweit einheitliche Grenzwerte für diese Schadstoffe. Allerdings werden die Werte gerade für Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) in vielen deutschen Städten regelmäßig überschritten.*



Um nicht zu drastischen Maßnahmen wie Fahrverboten greifen zu müssen, werden dringend alternative Möglichkeiten zur Reduktion der Stickoxidbelastung gesucht.

Eine Möglichkeit, die Schadstoffbelastung unabhängig von den Emissionsquellen zu reduzieren, ist die Photokatalyse. Mithilfe von Licht und dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff können Photokatalysatoren wie Titandioxid giftige Stickoxide in unproblematisches Nitrat umwandeln. Die Katalysatoren können dabei auf Baumaterialien wie Pflastersteine, Betonelemente, Fassaden oder Dachziegel aufgebracht werden, ohne dass deren Aussehen oder Funktion nennenswert beeinflusst werden. Einmal verbaut, senken solche funktionalisierten Elemente die Schadstoffkonzentration in der umgebenden Luft.

Konventionelle Photokatalysatoren sind allerdings in ihrer Reaktivität nicht sehr spezifisch. Unter ungünstigen Bedingungen kann das dazu führen, dass zwar  $\text{NO}_2$  abgebaut wird, aber durch andere Reaktionswege auch wieder entsteht. Um dieses Phänomen zukünftig wirkungsvoll unterbinden zu können, wurde ein Vorhaben der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) zur Entwicklung von selektiveren Photokatalysatoren initiiert. Dazu musste zunächst untersucht werden, welche Reaktionen zur Bildung der unerwünschten Nebenprodukte führen. Als Problemstelle wurde dabei vor allem die langsame Aktivierung des als Oxidationsmittel verwendeten Sauerstoffs identifiziert. Dies hat zur Folge, dass bereits gebildetes Nitrat wieder zurückreagieren kann und dadurch  $\text{NO}_2$  freigesetzt wird.

Durch die Imprägnierung der Photokatalysatoren mit Metallionen kann das jedoch verhindert werden, denn diese Metallionen dienen als kurzfristiger »Elektronenspeicher« und begünstigen so die Sauerstoffaktivierung. Dadurch werden sowohl die Abbaueffizienz für Stickoxide erhöht als auch Rückreaktionen unterbunden. Da es reicht, sehr geringe Mengen an Metallionen von deutlich weniger als einem Gewichtsprozent einzusetzen, werden weder die Eigenschaften des Materials noch dessen Kosten signifikant verändert.

Insbesondere die Beladung mit Eisenionen hat sich in den Versuchen als sehr effektiv herausgestellt: Die Nitratselektivität der Materialien konnte von etwa 30 Prozent auf über 90 Prozent gesteigert und damit die Bildung von  $\text{NO}_2$  praktisch komplett unterdrückt werden. Die verbesserte Reaktivität hat zur Folge, dass die Gesamtmenge an abgebautem Stickoxid um bis zu 500 Prozent erhöht wird! Zudem werden auch noch andere Luftschadstoffe wie Ozon effizienter abgebaut. Die im Rahmen des IGF-Projekts entwickelten Materialien stellen daher in jeder Hinsicht einen großen Fortschritt dar und können in Zukunft zu einer deutlich besseren Luftqualität in unseren Städten beitragen. //



# VOKOS KORROSIONSMCHANISMEN

Dr. Mathias Galetz  
> galetz@dechema.de

*Müllverbrennungsanlagen («Waste-to-Energy Plants») bieten die Möglichkeit der kommunalen Abfallbeseitigung mit dem zusätzlichen Nutzen, dabei Energie zu gewinnen. Leider enthält das Verbrennungsgas sehr aggressive Spezies, was zu einer schnellen Korrosion an den für die Energiegewinnung wichtigen Komponenten wie den Überhitzerrohren in Kesseln führt.*

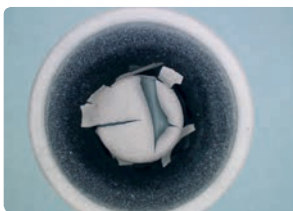




20 mm



Feldrückläufer mit Ablagerungen  
Anströmrichtung →  
20 mm



Probe mit Tiegel  
nach Laborversuch  
5 mm

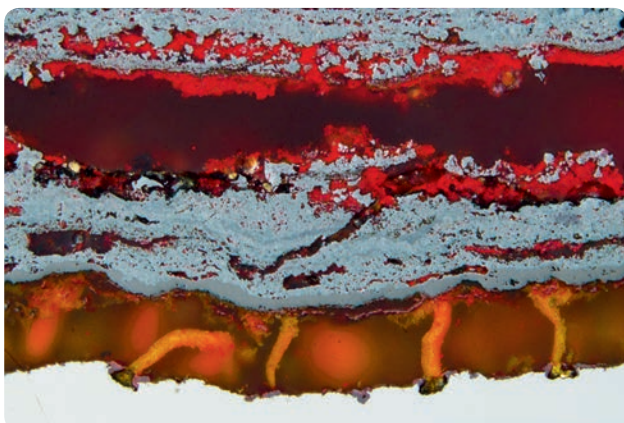
Alkali- und Erdalkalichloride sowie HCl und schwefelhaltige Aschen werden als kritischste Spezies angesehen. Diese bilden üblicherweise dicke Beläge auf den Rohren, in und unter denen die Korrosion extrem schnell voranschreiten kann.

Diese Schäden an den Kesseln durch Hochtemperaturkorrosion kosten die Anlagenbetreiber ungefähr eine halbe Million Euro pro Jahr, verursacht durch Reparaturen und Stillstandzeiten. Zusätzlich werden Verbrennungsanlagen bei Temperaturen unterhalb derer, die die bestmögliche Energieeffizienz ergeben, betrieben, um die Lebensdauer der Überhitzer zu erhöhen. Für ein durchschnittliches Kraftwerk führt diese Tatsache zu weiteren jährlich entgangenen Gewinnen in Höhe von ca. 750.000 €. Der gesamtwirtschaftliche Verlust von 200 Verbrennungsanlagen in Deutschland beläuft sich damit auf 250 Millionen Euro pro Jahr. Das schlägt sich direkt in den Entsorgungskosten jedes Haushalts nieder.

Da die Korrosion so stark ist, gibt es grundsätzlich zwei – ähnlich kostenintensive – Strategien, die von den Betreibern verfolgt werden. Entweder ein möglichst günstiges Material zu verwenden mit dem Wissen, dass die Rohre nach kurzer Zeit getauscht werden müssen, oder mit teuren Werkstoffen und Beschichtungen die Lebensdauer zu verlängern. Im Projekt VOKOS wird der Schadensmechanismus für unlegierte Stähle als günstige Lösung untersucht. In einem Konsortium mit sieben Partnern werden Möglichkeiten eruiert, verfahrenstechnisch auf die Korrosion Einfluss zu nehmen. Chlor-induzierte Hochtemperaturkorrosion wurde seit Anfang der 60er Jahre untersucht, aber die zugrunde liegenden Korrosionsmechanismen werden vor allem aufgrund der komplexen Atmosphäre in Zusammenspiel mit dem Aschebelag noch diskutiert.

### Werkstoff 16Mo3

Am DECHEMA-Forschungsinstitut wurde daher ausgehend von Untersuchungen zum Schadensbild an Rückläufern aus der Müllverbrennungsanlage von GKS in Schweinfurt der Mechanismus und die Kinetik der Chloridkorrosion am Werkstoff 16Mo3 untersucht. Ergänzt wird das Programm um umfangreiche Laborauslagerungen, in denen der Betriebszustand im Labor unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen simuliert wird. Durch diese Untersuchungen konnten bereits jetzt entscheidende neue Erkenntnisse gewonnen werden: mittels Morphologie und chemischer Zusammensetzung der Korrosionsschichten und -produkte wurde nachgewiesen, dass der Sauerstoffpartialdruck an der Werkstoffoberfläche unter den Aschebelägen gegenüber dem Rauchgas deutlich gesenkt wird. Dieser Mechanismus, der normalerweise unmittelbar auf die Oxidschicht begrenzt ist, führt dazu, dass sowohl die Chlor- als auch die Schwefelaktivität ebenso wie die Metallauflösung unter dem Belag deutlich erhöht ist. Aufgrund des niedrigen Sauerstoffpartialdrucks werden dann besonders Kaliumchloride aus der Verbrennung nicht mehr in stabilere und weniger aggressive Sulfate umgewandelt, sondern beschleunigen den Metallabtrag um ein Vielfaches. Das zeigt den hohen Einfluss durch kaliumhaltige Partikel und Kondensate im Rauchgas und bietet Möglichkeiten an dieser Stelle verfahrenstechnisch bereits in der Feuerung und dem Brennbett deren Freisetzung zu beeinflussen. //



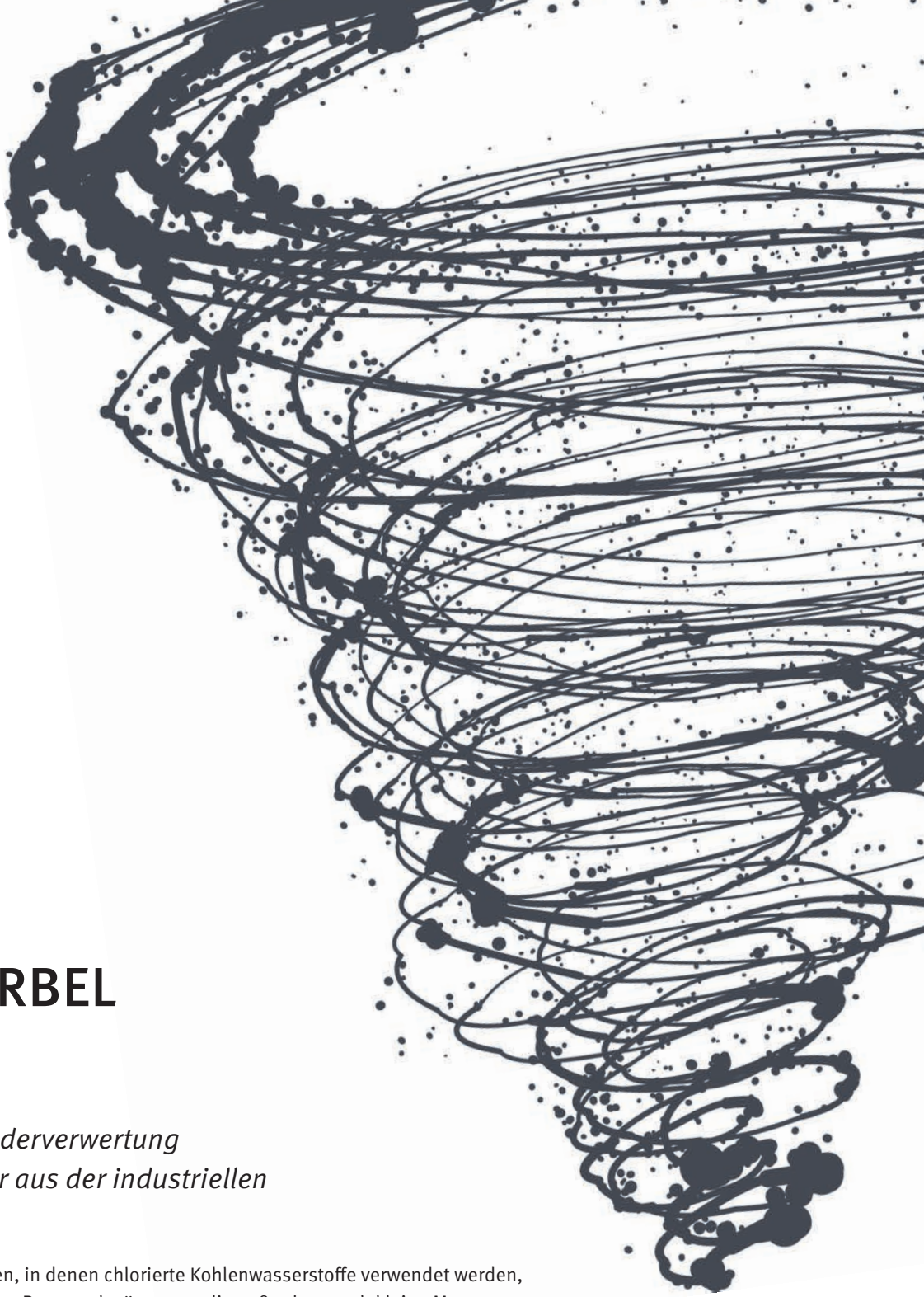
Übergang 16Mo3-Rohr - Korrosionsschicht-Belag  
200 µm

### Koordination

› GKS - Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH

### Projektpartner

- › Universität Augsburg, Lehrstuhl Experimentalphysik II
- › bifa Umweltinstitut GmbH
- › Universität Bochum, Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik (LEAT)
- › DECHEMA Forschungsinstitut (DFI)
- › Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)
- › SAR Elektronik GmbH



# ELEKTROWIRBEL

Dr. Klaus-Michael Mangold  
› [mangold@dechema.de](mailto:mangold@dechema.de)

## *Neue Ansätze zur Wiederverwertung salzhaltiger Abwässer aus der industriellen Produktion.*

In vielen technischen Synthesen, in denen chlorierte Kohlenwasserstoffe verwendet werden, fallen große Mengen salzhaltiger Prozessabwässer an, die außerdem noch kleine Mengen organischer Verbindungen enthalten. Das vom BMBF geförderte Verbundprojekt »ElektroWirbel« verfolgt das Ziel, diese Abwässer so zu behandeln, dass geschlossene Prozesskreisläufe für Wasser und Salz entstehen. Zusammen mit Partnern entwickelt die Arbeitsgruppe Elektrochemie am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) eine neuartige magnetische Wirbelbett-Elektrode.

Die Basis der elektrochemischen Wirbelbett-Elektrode bilden magnetische Partikel, die an ihrer Oberfläche elektrisch leitfähig sind. Mit dieser Elektrode soll die Beseitigung organischer Verunreinigungen durch Elektrosorption realisiert werden. Dabei wird an die Partikel ein elektrisches Potential angelegt, das die Adsorption der organischen Wasserinhaltsstoffe verstärkt. Durch Änderung des elektrischen Potentials sollen die organischen Verbindungen wieder von den Partikeln entfernt und die Partikeloberfläche dadurch regeneriert werden. Das Magnetfeld steuert die Bewegung der Partikel und beschleunigt die Adsorption der Organika auf den Partikeln.

Für die neue Wirbelbett-Elektrode eröffnen sich Anwendungsperspektiven beispielsweise im Downstream Processing in der Biotechnologie, in der Elektroorganischen Synthese oder in der Behandlung von Abwässern aus der Galvanik. //



## SPURENSTOFFE ELEKTROCHEMISCH ABBAUEN

Dr. Klaus-Michael Mangold  
 › [mangold@dechema.de](mailto:mangold@dechema.de)

*Viele Spurenstoffe, darunter auch Pharmazeutika, werden in Kläranlagen und Gewässern nicht abgebaut und sind u.a. im Grundwasser und im Abwasser nachweisbar. Die Konzentrationen sind gering. Allerdings ist die Wirkung einer Mischung aus mehreren Pharmazeutika noch weitgehend unbekannt.*

In Zusammenarbeit mit dem DVGW-Technologiezentrum Wasser konnte in einem vom BMWi geförderten Projekt der industriellen Gemeinschaftsforschung gezeigt werden, dass ein dreistufiges, elektrochemisches Verfahren zum Abbau von pharmazeutischen Spurenstoffen prinzipiell funktioniert. Im ersten Schritt erfolgt die Aufkonzentrierung der Arzneimittelrückstände durch Adsorption an Aktivkohle.

Im zweiten Schritt wird die Aktivkohle mit dem Ziel polarisiert – d.h. es wird eine elektrische Spannung angelegt – die Aktivkohle zu regenerieren und dabei die adsorbierten Arzneimittelrückstände soweit möglich elektrochemisch abzubauen. Im dritten Schritt werden elektrochemisch mit Hilfe von Bor-dotierten Diamantelektroden Ozon und OH-Radikale erzeugt, die die Arzneimittelrückstände abbauen. Ziel der Oxidation ist die Mineralisierung der Arzneimittel oder zumindest die Umwandlung in biologisch leicht abbaubare Stoffe.

In zwei neuen Forschungsprojekten, die vom BMBF gefördert werden, werden diese Erkenntnisse nun auf industrielle Prozessabwässer übertragen. Die Vorstellung des Projektes »ElektroWirbel« (siehe auch links) finden Sie auf unserer Website unter [www.dechema-dfi.de/elektrowirbel.html](http://www.dechema-dfi.de/elektrowirbel.html).

Im zweiten Projekt »Re-Salt« ist die Entwicklung eines Wirbelbett-Reaktors zur potentialgesteuerten Adsorption und Desorption Gegenstand der Forschungsarbeiten.//

### Was verbindet den Spurenstoff-Abbau mit der Mikrobiellen Elektrosynthese? *(siehe auch Seite 4)*

Beide Verfahren nutzen der Umwelt, indem sie Schadstoffe entfernen bzw. klimaschädliches Kohlendioxid in Wertstoffe umwandeln. Beide Verfahren besitzen langfristig ein breites Anwendungsfeld und befinden sich noch in einer frühen Entwicklungsphase. Und beide Verfahren nutzen die Elektrochemie, was zum Aufschwung dieser Disziplin beiträgt und zeigt, dass die Elektrochemie mehr als nur Batterien zu bieten hat.

# EFFIZIENZ-STEIGERUNG NEUE WÄRMEDÄMMSCHICHTSYSTEME FÜR FLUGZEUG- UND GASTURBINEN

Dr. Mario Rudolphi  
› rudolphi@dechema.de

Wärmedämmschichtsysteme (engl. Thermal Barrier Coating, TBC) auf Basis von Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid (YSZ) werden seit mehreren Jahrzehnten in Gasturbinen und Flugzeugtriebwerken eingesetzt, um eine höhere Effizienz der Turbine und einen reduzierten CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu erreichen.

Allerdings ist das Standardmaterial YSZ inzwischen an der oberen Einsatzgrenze von ca. 1.250 °C angekommen. Oberhalb dieser Temperatur finden unerwünschte Phasenumwandlungen statt, und das Material unterliegt einer gesteigerten Neigung zu »wachsen«, zu versintern. Um die Gastemperatur in der Turbine weiter anheben zu können, werden daher innovative Lösungen benötigt.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Verwendung von Keramiken mit Pyrochlor-Struktur, wie z.B. Gadoliniumzirkonat (Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, GZO). Dieses zeichnet sich durch exzellente Hochtemperaturstabilität und geringe Wärmeleitfähigkeit aus, ist jedoch mechanisch nicht so stabil (geringere Bruchzähigkeit) und hat einen geringeren Wärmedehnkoeffizienten als YSZ. Einlagige TBC-Systeme aus GZO sind folglich nicht so leistungsfähig wie Systeme aus YSZ. Im Vor-

haben »Bi-Layer Wärmedämmschichtsysteme« werden daher doppelagige Wärmedämmschichten mit einer unteren Lage aus YSZ und einer oberen Lage GZO untersucht, mit dem Ziel, die Temperatur in der Turbine über 1.400 °C anzuheben.

## Schädigungsverhalten unter thermischer und mechanischer Beanspruchung

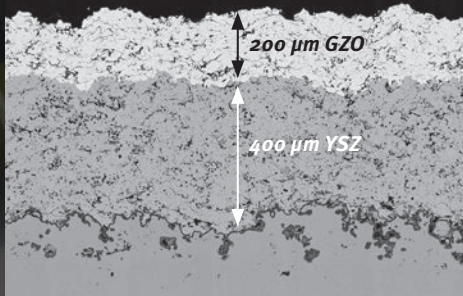
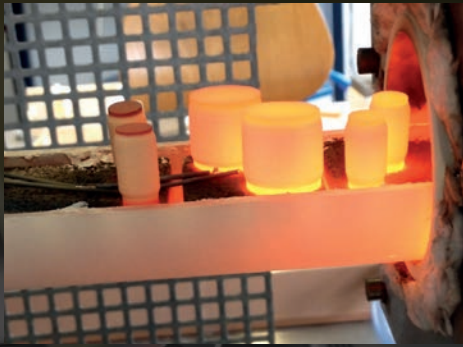
In diesem Forschungsprojekt, das am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) in Kooperation mit dem Institut für Energie und Klimaforschung (IEK-1) des Forschungszentrums Jülich und dem Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde (IfW) der TU Darmstadt durchgeführt wird, wird das Schädigungsverhalten dieser neuartigen TBC-Systeme unter thermischer und mechanischer Beanspruchung eingehend untersucht.

Darüber hinaus werden am IEK-1 Spritzparameter ermittelt, mit denen reproduzierbar GZO Schichten mit optimierten Eigenschaften (z.B. Porosität und Schichthaftung) erzeugt werden können. Am DFI steht die Untersuchung der Schichtschädigung im Vordergrund. Es wurde das Risswachstum bei isothermer und zykli-

scher Beanspruchung studiert und ein bruchmechanisches Lebensdauermodell für Bi-Layer Wärmedämmschichten entwickelt. Dieses beschreibt die kritische Dehnung (die zur Schädigung der TBC führt) als Funktion der Größe von physikalischen Defekten in der keramischen Schicht.

Zur Validierung des Modells wurden 4-Punkt Biegeversuche an beschichteten Flachproben durchgeführt, um die kritische Dehnung experimentell zu bestimmen. Aus dem Modell lassen sich Lastgrenzen der Beschichtungen ableiten, oder es kann bei vorgegebener Last die Restlebensdauer abgeschätzt werden.

In der zweiten Projektphase wird nun der Übergang von planen Geometrien zu gekrümmten Oberflächen und komplexen Bauteilen vollzogen. Derzeit wird der Einfluss eines Krümmungsradius auf die Risswachstumskinetik anhand von Rundproben mit zwei verschiedenen Radien und einem Modellkörper mit Schaufelähnlicher Geometrie untersucht. Zudem ist ein Finite Elemente Modell in Entwicklung, um an komplexen Bauteilen den Ort des Versagens vorherzusagen.//



Am DFI steht die Untersuchung der Schichtschädigung im Vordergrund



# LET IT FLOW

## REDOX-FLOW-TECHNOLOGIEN

Dr. Claudia Weidlich  
> [weidlich@dechema.de](mailto:weidlich@dechema.de)

*Der von der Bundesregierung angestrebte Umbau der deutschen Energieversorgung hin zu höherer Effizienz und stärkerer Einbindung erneuerbarer Energien stellt Wissenschaft und Gesellschaft vor große Herausforderungen.*

Signifikante Fortschritte sind im Bereich der Energiespeicher notwendig, um diskontinuierlich anfallenden Strom aus erneuerbaren Energien in das Stromnetz einzuspeisen. Hier sind Redox-Flow-Batterien eine vielversprechende Technologie zur Energiespeicherung mit einfacher Skalierbarkeit und hohem Wirkungsgrad.

Am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) forschen die Arbeitsgruppen Technische Chemie und Elektrochemie in verschiedenen Projekten an der Entwicklung und Optimierung von Redox-Flow-Technologien und arbeiten dabei eng zusammen. Neue Elektrodenmaterialien und -geometrien sowie Elektrolyte werden erforscht und entwickelt. An Testständen werden der Ladezustand während des Betriebs der Batterie online ermittelt und neuartige Elektroden, bio-basierte Elektrolyte sowie verschiedene Membranmaterialien getestet und optimiert.

### tubulAir

Das Verbundprojekt »tubulAir« wird über die Förderinitiative Energiespeicher des BMWi, des BMU und des BMBF als Leuchtturm-Projekt gefördert. Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer neuartigen tubulären Redox Flow-Batterie.

Im Rahmen dieses Verbundprojektes agiert das DFI als Bindeglied zwischen den Herstellern der Einzelkomponenten (Elektrolyt, nanostrukturierte Elektrode, Katalysator, Membran) und den Anwendern des Gesamtsystems und führt Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit sowie zur Stabilität der Komponenten durch. Dazu wurde ein Test-





stand für Redox-Flow-Batterien aufgebaut und ein Monitoring-System zur Ermittlung des Ladezustandes entwickelt. Im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung werden zwei kürzlich begonnene BMWi-Verbundprojekte gefördert, die beide am DFI koordiniert werden:

#### **DegraBat**

Das Verbundprojekt »DegraBat« hat die Aufklärung und Vorhersage von Degradationsprozessen an All-Vanadium-Redox-Flow-Batterien zum Ziel. Die Arbeitsgruppe Elektrochemie entwickelt hier elektrochemische Methoden zur Identifizierung von Degradationsprozessen im Vana-

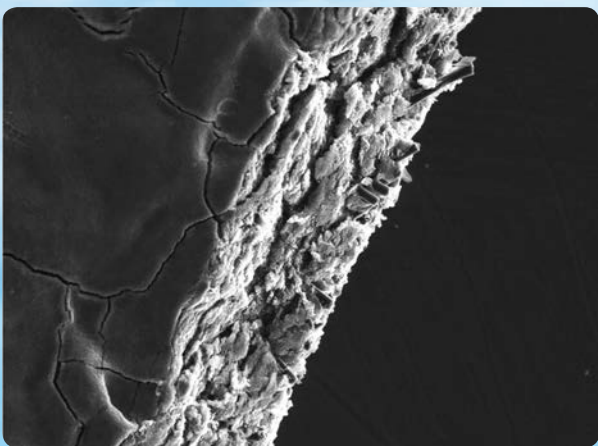
dium-Elektrolyten sowie zur gezielten und beschleunigten Alterung von Redox-Flow-Komponenten.

#### **PhotoFlow**

Eine völlig neuartige, direkt solar ladbare Redox-Flow-Batterie wird im Projekt »PhotoFlow« entwickelt. Das Verfahren wurde am DECHEMA-Forschungsinstitut zum Patent angemeldet. In diesem Projekt forschen die Arbeitsgruppen Technische Chemie und Elektrochemie zur Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien und elektrochemischer Testmethoden Hand in Hand.

In unseren nächsten Magazin-Ausgaben berichten wir detaillierter über die hier vorgestellten Projekte. //

# O<sub>2</sub>



REM-Aufnahme einer Gasdiffusionselektrode  
100 µm

Verbrennungsmotoren setzen die im Brennstoff enthaltene chemische Energie bei sehr hohen Temperaturen und Drücken direkt in mechanische Energie um, während in einer Brennstoffzelle bzw. Metall/Luft-Batterie der Brennstoff unter milden Bedingungen mit Hilfe eines Katalysators direkt in elektrische Energie umgewandelt wird. Dieser Vorgang wird als »kalte Verbrennung« bezeichnet.

Um den Reaktionsraum zu erweitern bzw. hohe Stromdichten zu erzielen, werden so genannte Gasdiffusionselektroden (GDE) mit einem drei-dimensionalen porösen Reaktionsraum verwendet. Dank einer ausgewogenen Verteilung der hydrophilen und hydrophoben Bereiche und der Bildung einer Dreiphasengrenze fest/flüssig/gasförmig am Katalysator kann der Sauerstoff im gasförmigen Aggregatzustand und in sehr hoher Konzentration an die Reaktionszentren gelangen.

Im Gegensatz zu der Protonen-Austauschermembran-Brennstoffzelle (PEMFC), die auf kostenträchtige Edelmetall-Katalysatoren wie z.B. Platin und Palladium angewiesen ist, werden in den alkalischen Systemen vergleichsweise günstige Oxidmaterialien verwendet.



# MEILENSTEIN IN DER GDE-ENTWICKLUNG 3.000 STUNDEN OHNE POTENZIALVERLUST

Dr. Jean-Francois Drillet  
> [drillet@dechema.de](mailto:drillet@dechema.de)

*Was verbindet Brennstoffzellen, Metall/Luft-Batterien und Verbrennungsmotoren?*

*Alle drei Technologien nutzen den in der Atmosphäre zur Verfügung stehenden Sauerstoff als Oxidationsmittel, der bei der Massenbilanz im Gegensatz zu den konventionellen geschlossenen Batterien nicht mitberücksichtigt wird.*

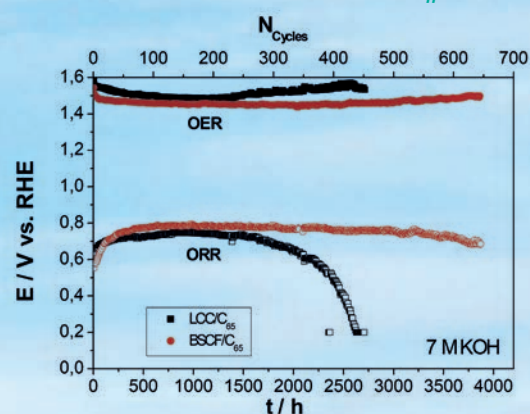
## Steigerung der Energieeffizienz und Stabilität

Auf Metalloxide basierende GDE haben bisher nur in wenigen Produkten, wie z.B. der primären alkalischen Zink/Luft-Knopfzelle für Hörgeräte, kommerzielle Anwendung gefunden. Eine Erweiterung des Produktspektrums auf wiederaufladbare Systeme ist zwar wünschenswert, aber sehr anspruchsvoll. Dies liegt vor allem an der noch niedrigen Lade/Entlade-Energieeffizienz der Zelle (<60%) und an der unzureichenden Lebensdauer der GDE. Genau diese Aspekte werden am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) untersucht.

Oxid-Katalysatoren besitzen in der Regel eine unzureichende elektrische Leitfähigkeit, die das Beimischen von Kohlenstoffen mit hoher Oberfläche ( $> 50 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ) erfordert. Diese sind jedoch generell korrosionsanfällig. Zur Steigerung der GDE-Zyklusfähigkeit wurden im Rahmen des ALSiBat-Projekts (<http://dechema-dfi.de/ALSiBat.html>) verschiedene Kohlenstoffe sowie bifunktionelle Perowskitoxid-Katalysatoren ( $\text{LaCaCoO}_3$  und  $\text{BaSrCrFeO}_3$ ) zu einer GDE gefertigt. Ihre Aktivität für die Sauerstoff-Reduktion (ORR) bzw. -Entwicklung (OER) unter Halbzelle-Bedingungen (ohne die Zn-Elektrode) wurde dabei untersucht. Über-

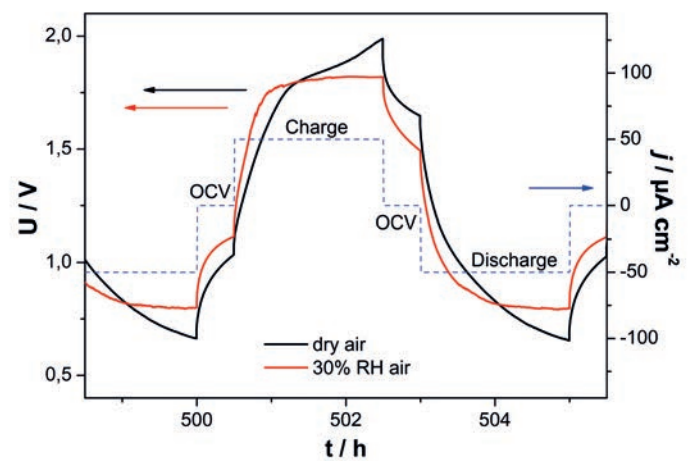
raschenderweise konnte die BSCF/C-GDE bei  $10 \text{ mA cm}^{-2}$  über 3.000 h ohne nennenswerten Potentialverlust betrieben werden und somit die Lebensdauer der Referenz LCC/C-GDE um das zweifache übertroffen werden.

Hiermit setzt das DFI einen Meilenstein in der vorwettbewerblichen GDE-Entwicklung und ist auf der Suche nach potentiellen Kooperationspartnern. Die relevanten Ergebnisse sind in einem open-access Artikel publiziert worden ([10.1016/j.carbon.2017.04.051](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.04.051)). //



Spannungsverläufe der Perowskit-Katalysatoren in der Halbzelle

# LuZi



# EINE ELEKTRISCH WIEDERAUFLADBARE ZINK/LUFT-ZELLE MIT IONIC LIQUID ELEKTROLYTEN

Dr. Jean-Francois Drillet  
› [drillet@dechema.de](mailto:drillet@dechema.de)

Der Bedarf an effizienten, umweltfreundlichen und sicheren Energiespeichern wächst stetig. Um die Lithium-Ressourcen zu schonen und etablierte, aber energiearme Blei- bzw. NiCd-Industrieakkumulatoren abzulösen, sind weitere innovative Technologien gefragt. Mit einer theoretischen gravimetrischen Kapazität von 820 mAh/g Zink zählt das Zink/Luft-System zumindest auf dem Papier zu den vielversprechenden Kandidaten für portable, stationäre und mobile Anwendungen. Aufgrund der untoxischen Komponenten, relativ zahlreichen Zinkvorkommen, guter Umweltverträglichkeit, preiswerter Herstellung und nicht zuletzt der nicht explosiven Eigenschaften genießt die Zelle unter den Experten eine gewisse Akzeptanz trotz spürbarer Skepsis. Denn bisher konnte sich nur die nicht-wiederaufladbare Knopfzelle als Energielieferant für Hörgeräte auf dem Markt behaupten. Davon werden allein bei Varta Microbattery in Erlangen über 1 Mio. Zellen täglich produziert. Die zahlreichen Versuche, eine elektrisch wiederaufladbare Zelle auf dem Markt einzuführen, sind bisher weitestgehend gescheitert. Dies liegt vorwiegend an den inhärenten Eigenschaften der GDE (siehe Seite 22) und des alkalischen Elektrolyten. Die Dendritbildung spielt hier zunächst eine untergeordnete Rolle. Abgesehen von der Neigung zur Karbonatbildung erweist sich das Elektrolytmanagement in halboffenen Zellen mit flüssigem/wässrigem Elektrolyten als sehr problematisch.

Die Zink/Luft-Knopfzelle im Hörgerät funktioniert deshalb so gut, weil im Ohrbereich ständig ein Feuchtigkeitsgehalt im Bereich von 40 bis 70% herrscht. Dank der raschen Entwicklung ionischer Flüssigkeiten (ionic liquid: IL) sind in letzter Zeit neue Perspektiven für Energiespeicher entstanden. Aufgrund ihres niedrigen Dampfdrucks und ihrer geringer Neigung zur Karbonatbildung stellen sie eine hochinteressante Alternative zu den alkalischen Systemen dar. Diese neuartigen Elektrolyte müssen dennoch die jeweiligen Elektrodenreaktionen begünstigen, ein breites Potentialfenster und eine hohe ionische Leitfähigkeit besitzen sowie die Bildung einer 3-Phasengrenze in der GDE erlauben.

## DEMATfO und ZnTfO

Im Rahmen des LuZi-Projekts (<http://dechema-dfi.de/LuZi.html>) wurden am DFI verschiedene ILs auf Ihre Eignung als Elektrolyt für die Zn/Luft-Batterie unter Halb- und Voll-Zellen-Bedingungen untersucht. Tendenziell werden protonenhaltige Mischungen bevorzugt, die eine Übertragung von 2 bzw. 4 Elektronen während der Sauerstoffreduktion erlauben. Die besten Ergebnisse wurden bisher mit einer Mischung aus Diethylmethylammonium-Triflat (DEMATfO) und Zink-Triflat (ZnTfO) in feuchter Luft erzielt.

Hiermit konnte zum ersten Mal die Machbarkeit einer elektrisch wiederaufladbaren Batterie über 700 h (140 Zyklen) mit einer ionischen Flüssigkeit als Elektrolyt und ohne CO<sub>2</sub>-Filter demonstriert werden. Der energetische Wirkungsgrad und die reversible Kapazität betragen dabei ca. 60% bzw. 100 µAh. Im Vergleich zu konventionellen alkalischen Zellen sind die Stromdichten allerdings um circa zwei Größenordnungen geringer. Die reversible Kapazität muss ebenfalls deutlich gesteigert werden. Die anstehenden Arbeiten fokussieren auf die Untersuchungen von ILs mit höherer Oberflächenspannung. //



**FOTO** Langzeittest einer Zink/Luft-Zelle über einen Zeitraum von 1.000 Stunden in der Luft und ohne CO<sub>2</sub>-Filter

**GRAFIK** Spannungsverlauf während eines ausgewählten Lade/Entlade-Zyklus

Quelle: DOI: 10.1149/2.0351708jes



*Fachliche Exzellenz ist eine Grundvoraussetzung für Naturwissenschaftler und Ingenieure, die dauerhaft erfolgreich sein möchten. Ebenso ist für Unternehmen die Weiterqualifizierung ihrer Mitarbeiter eine der wichtigsten Investitionen in die Zukunftsfähigkeit sowie ein entscheidendes Werkzeug der Personalentwicklung.*

Mit seinem Weiterbildungsangebot trägt das DECHEMA-Forschungsinstitut dazu bei, Kenntnislücken zu schließen, frühzeitig auf zukunftsweisende Entwicklungen aufmerksam zu machen und neue Methoden in die industrielle Praxis zu transferieren.

Weiterbildung für die Praxis – das ist Kern unserer Kurse und Seminare für Chemiker, Ingenieure, Biotechnologen und Werkstoffwissenschaftler.

In unseren Seminaren mit limitierten Teilnehmerzahlen werden in einer angenehmen Lernatmosphäre Wissen und Fachkompetenzen ergänzt, erweitert und vertieft sowie praktische Fähigkeiten vermittelt. In diesem Rahmen können Sie sich auf hohem Niveau mit Fachkollegen austauschen und Ihr berufliches Netzwerk erweitern.

Wir bieten Seminare zu verschiedenen Schwerpunktthemen in der Verfahrenstechnik, Elektrochemie, Korrosion, Biotechnologie sowie auch zu weiteren Querschnittsthemen an.

Unser Weiterbildungsangebot wird stetig aktualisiert und erweitert.

# JANUAR – JUNI 2018

## WEITERBILDUNGSKURSE

Die Weiterbildungskurse werden vom DECHEMA-Forschungsinstitut in Kooperation mit der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. angeboten.

Die Veranstaltungen finden – sofern nicht anders angegeben – im DECHEMA-Haus in Frankfurt am Main statt.

**DECHEMA-Forschungsinstitut**  
Weiterbildung  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

Nicola Größ  
+49 (0) 69 7564-253  
gruss@dechema.de

Heidi Weber-Heun  
+49 (0) 69 7564-202  
weber-heun@dechema.de  
[www.dechema-dfi.de/kurse](http://www.dechema-dfi.de/kurse)

### JANUAR

**31.1. – 1.2.** Auslegung, Modellierung und Simulation von Chemiereaktoren

### FEBRUAR

**5.2. – 7.2.** Sicherheit chemischer Reaktionen

**26.2. – 27.2.** Kostenschätzung

**26.2. – 27.2.** Prozessregelung verfahrenstechnischer Prozesse

**27.2. – 1.3.** Protein-Ligand Docking und Virtual Screening für Einsteiger // in Erlangen

**28.2.** Effektive Kostensenkung in der Produktion durch Big Data

**28.2. – 1.3.** Scale-Up

### MÄRZ

**13.3. – 14.3.** Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – Grundlagen

**15.3.** Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – SIL-Berechnung leicht gemacht

### APRIL

**16.4. – 18.4.** Sicherheitstechnik in der Chemischen Industrie

**19.4.** Cyclovoltammetrie

**26.4.** Werkstoffauswahl im chemischen Anlagen- und Apparatebau

### MAI

**23.5. – 24.5.** Multivariate Datenanalyse für die Pharma-, Bio- und Prozessanalytik

**24.5.** Gasdiffusionselektroden

### JUNI

**5.6.** Der SIL-Tag

**25.6. – 26.6.** Produktentwicklung – Von der Idee zum chemiebasierten Produkt

# INTERN



Prof. Damien Feron, Präsident der EFC, überreichte Herrn Prof. Schütze die Urkunde der Fellowship der EFC

## Honary Fellowship der European Federation of Corrosion für Prof. Michael Schütze

Auf der EUROCORR 2017 in Prag/CZ wurde Herrn Prof. Schütze im Rahmen der Eröffnungssitzung am 4.9.2017 die Honary Fellowship der European Federation of Corrosion (EFC) verliehen. Er erhielt diese Auszeichnung für sein langjähriges aktives Engagement in der EFC als Working Party Chair und Mitglied des Science and Technology Advisory Committee (1998 – 2016) sowie als EFC-Präsident (2005 – 2008). Mit dieser Auszeichnung wurden gleichzeitig seine wissenschaftlichen Leistungen gewürdigt, die ihn zum Vertreter des Forschungsgebiets Hochtemperaturkorrosion der EFC machten. Die Übergabe der Urkunde erfolgte durch den derzeitigen Präsidenten der EFC, Prof. Damien Feron.

In dessen Fußstapfen trat gleichzeitig PD Dr. Wolfram Fürbeth, der die erste EUROCORR in neuer Funktion als Vorsitzender des Science and Technology Advisory Committee der EFC erleben durfte. Eine seiner neuen Aufgaben bestand dabei in der Verleihung der Young Scientist Grants und der Posterpreise in der Plenarsitzung am Mittwochmorgen. //



Herr Dr. Ali Soleimani-Dorcheh fertigte am DFI seine Doktorarbeit an und erhielt von Herrn Prof. Preuße die Borchers-Plakette

## Borchers-Plakette für Dr. Soleimani-Dorcheh

Der Rektor der RWTH Aachen zeichnet in jedem Jahr diejenigen Doktoranden mit der Borchers-Plakette aus, die ihre Promotion mit Auszeichnung (summa cum laude) abgeschlossen haben. Dieses Jahr zählte auch Herr Dr. Ali Soleimani-Dorcheh aus der Arbeitsgruppe Hochtemperaturwerkstoffe dazu, der am DECHEMA-Forschungsinstitut seine Doktorarbeit angefertigt und an der RWTH Aachen promoviert hat. Die Plakette wurde ihm am 16.9.2017 im Rahmen des Graduiertenfestes 2017 der RWTH vom Dekan der Fakultät für Geosciences und Materialtechnik, Herrn Prof. Preuße, überreicht. Herr Dr. Soleimani-Dorcheh hat über das Thema »Oxidation-Nitridation of Chromium and its Mitigation by Alloying« promoviert. //



PD Dr. Wolfram Fürbeth ist nun Vorsitzender des Science and Technology Advisory Committee der EFC und verlieh die Young Scientist Grants sowie die Posterpreise

# ACHEMA

2018 11 – 15 June  
Frankfurt / Main

UNSERE  
DEHEMA-STÄNDE

HAUPTSTAND

Halle 9.2

WERKSTOFFE

Halle 11.0

WEITERBILDUNG

Halle 4 Foyer

BE INFORMED.  
BE INSPIRED.  
BE THERE.

- ▶ World Forum and Leading Show for the Process Industries
- ▶ 3,800 Exhibitors from 50 Countries
- ▶ 170,000 Attendees from 100 Countries

[www.achema.de](http://www.achema.de)





**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

[www.dechema-dfi.de](http://www.dechema-dfi.de)

