



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

**FOCUS**  
**PROZESS-**  
**INDUSTRIE**  
*process*  
*industry*

N° 2 · 2018

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

**Chemische Technik // Biotechnologie // Werkstoffe**  
*chemical engineering // biotechnology // materials*

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  
*director of the board*  
Prof. Dr. Jens Schrader

SITZ DER STIFTUNG  
*foundation headquarters*  
Frankfurt am Main

REDAKTION  
*editorial staff*

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

Nachdruck – auch auszugsweise – nur  
mit Genehmigung des Herausgebers.  
*Reprinting – including excerpts –  
only with the permission of the publisher.*

DATENSCHUTZHINWEIS *privacy notice*

Alle Details zur Verarbeitung Ihrer Daten können Sie den Datenschutzhinweisen des DECHEMA-Forschungsinstitutes entnehmen ([http://www.dfi.de/datenschutz\\_de.html](http://www.dfi.de/datenschutz_de.html)). Der guten Ordnung halber weisen wir Sie gleichfalls darauf hin, dass Sie der Nutzung Ihrer Daten für die Zusendung dieses Magazins jederzeit widersprechen können.

*All details on the processing of your data can be found in the data protection information of the DECHEMA-Forschungsinstitut ([http://www.dfi.de/datenschutz\\_en.html](http://www.dfi.de/datenschutz_en.html)). For the purpose of completeness, we would also like to point out that you can object to the use of your data for delivery of this magazine at any time.*



PROF. DR.  
JENS SCHRADER  
Vorstand des DEHEMA-  
Forschungsinstitutes  
*Executive Director  
DEHEMA Research  
Institute*

*Liebe Leserinnen, liebe Leser,*

*steigende Rohstoffpreise, smartes Equipment, nachhaltige Werkstoffe und vernetzte Anlagen – das sind die aktuellen und branchenübergreifenden Herausforderungen der Prozessindustrie. Zudem verspricht die Digitalisierung einiges an Optimierung, nicht nur bei der Steigerung der Anlageneffizienz, sondern auch im Hinblick auf mehr Wettbewerbsfähigkeit.*

*Das DEHEMA-Forschungsinstitut (DFI) weist zahlreiche Schnittstellen zur Prozessindustrie auf. In der vorliegenden AICHEM-Ausgabe widmen wir uns speziell diesem Themenkomplex und informieren Sie unter anderem über verschiedene Forschungsansätze im Bereich der Synthesegasproduktion, über Reaktorprototypen für die Photokatalyse, über gentechnisch optimierte Bakterien, die organischen Lösungsmitteln in Bioreaktoren besonders gut standhalten können sowie über die elektrochemische Behandlung von Prozesswässern.*

*Wir sind stolz darauf, ein so breites methodisches und fachliches Wissen unter einem Dach zu vereinen, finden sich doch gerade an den Grenzen der Disziplinen die besonders vielversprechenden Innovationen für eine moderne, zukunftsorientierte Industriegesellschaft.*

*Bitte nutzen Sie wieder die angegebenen Kontaktadressen und weiterführenden Links, um mit uns in den Dialog zu treten. Wir freuen uns auf Ihre Anregungen.*

*Abschließend möchte ich Ihnen, liebe Leser, im Namen des gesamten DFI-Teams für Ihr durchweg positives Feedback zur Erstausgabe unseres neuen Magazins **lab<sub>2</sub>industry** herzlich danken. Ihr großer Zuspruch ist uns Verpflichtung und Ansporn zugleich, Ihnen mit den folgenden Ausgaben viele weitere spannende Themen aus unserer Forschung vorzustellen.*

*Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen dieser Ausgabe!*

*Dear Readers,*

*Rising raw material prices, smart equipment, sustainable materials and networked facilities – these are the current and cross-industry challenges of the process industry. In addition, digitization promises a great deal of optimization, not only in terms of increasing plant efficiency, but also in terms of greater competitiveness.*

*DEHEMA Research Institute (DFI) has numerous interfaces to the process industry. In this special »ACHEM edition« we focus specifically on this topic and we highlight various research approaches in the field of synthesis gas production, reactor prototypes for photocatalysis, genetically optimized bacteria that can withstand organic solvents in bioreactors particularly well, and the electrochemical treatment of process water.*

*We are proud to unite such broad methodical and technical knowledge under one roof, as the particularly promising innovations for a modern, future-oriented industrial society can be found at the boundaries of these disciplines.*

*Please use the given addresses and further links to get in contact with us. We are looking forward to your suggestions.*

*Finally, on behalf of the entire DFI team, I would like to thank you, dear readers, for your positive feedback on the first issue of our new magazine **lab<sub>2</sub>industry**. Your great encouragement is both an obligation and an incentive for us to introduce you to many other exciting topics from our research in the following issues.*

*I hope you enjoy reading this issue!*

*Yours sincerely,*

Ihr   
JENS SCHRADER



UMSCHLAG Industrielle Öl- und Gasinstallation  
COVER Industrial oil and gas installation

FOCUS

FOCUS  
**PROZESSINDUSTRIE**  
process industry

**BILDNACHWEIS** *photo credits*

*iStockphoto: stevanovicigor (U3), characterdesign (S.13), Reptile 8488 (S.16), spoooh (S.21) · Fotolia: rcfotostock (S.4), JackStock (S.6), psdesign (S.17), dima (S.22), SolisImages (S.24), Taras Livyy (S.28) · Adobe Stock: christian42 (Umschlag, U2, S.2) · Lindner & Steffen (S.1), Dr. Jonathan Bloh (S.14/15), Dr. Ali Soleimani-Dorcheh (S.12/13, S.18/19), Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V. (S.26), Markus Stöckl (S.27) · Alle anderen: DECHEMA-Forschungsinstitut*

**GESTALTUNG** *design*

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

1

**EDITORIAL***editorial*

PROF. DR. JENS SCHRADER

## Partnerschaftlich //

*cooperation*

4

**SYNTHESEGAS**AUS ERNEUERBARER ENERGIE  
UND KOHLENDIOXID*syngas from renewable energy  
and carbon dioxide*

DR.-ING. JEAN-FRANÇOIS DRILLET

## Angewandt //

*practical*

6

BEHANDLUNG VON

**PROZESS- UND ABWÄSSERN***treatment of process and waste water*RAMONA SIMON M.SC., DR. CLAUDIA WEIDLICH,  
DR. KLAUS-MICHAEL MANGOLD

8

SCHUTZ VOR **METAL DUSTING**

DURCH TROCKENE REFORMIERUNG

*protecting against metal dusting  
by dry reforming*

PD DR.-ING. MATHIAS GALETZ

10

**KORROSIONSSCHUTZ**GEGEN VANADATE UND H<sub>2</sub>S IM  
PROZESS DER PARTIELLEN OXIDATION*corrosion protection against vanadates  
and H<sub>2</sub>S in the partial oxidation process*

PD DR.-ING. MATHIAS GALETZ

12

DECHEMA-ZENTRUM FÜR **KORROSION  
UND KORROSIONSSCHUTZ***dechema corrosion and protection centre*

PD DR.-ING. WOLFGANG FÜRBEETH

## Technologisch //

*technological*

14

FREISCHWIMMER FÜR DIE

**PHOTOKATALYSE***free floating photocatalysis*

DR. JONATHAN BLOH

## Spezialisiert //

*specialized*

16

**MIKROBEN**

IN LÖSUNGSMITTELN

*microbes in organic solvents*

FLORENCE SCHEMP M.SC.

18

REDOX-FLOW

**MONITORING***redox flow monitoring*

DR. CLAUDIA WEIDLICH

20

VERBESSERTE

ANODISIERSCICHTEN

**DURCH IMPRÄGNIERUNG****MIT NANOPARTIKELN***improved anodizing layers**by impregnation with nanoparticles*

ADRIAN ANTHES M.SC.

## Interdisziplinär //

*interdisciplinary*

22

CO<sub>2</sub> ZU TERPENEN**AUS ABGASEN WERDEN****BASISCHEMIKALIEN***co<sub>2</sub> to terpenes from waste gas**to platform chemicals*

DR.-ING. DIRK HOLTSMANN

## Bildend //

*educational*

26

JUNI – NOVEMBER 2018

**WEITERBILDUNGSKURSE***continuing education courses**june – november 2018*

26

**INTERN***in-house*

28

**ZAHLEN & DATEN***facts & figures*

# SYNTHESEGAS AUS ERNEUERBARER ENERGIE UND KOHLENDIOXID

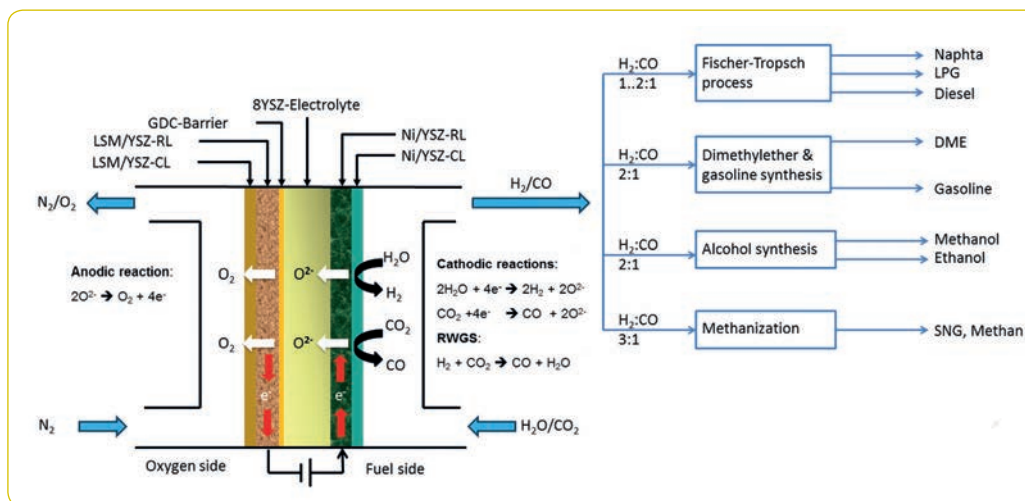
*syngas from  
renewable energy and  
carbon dioxide*

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

Das Kopernikus-Projekt P2X<sup>1</sup> wird die strategischen Ziele der »Energiewende« unterstützen, in der zum einen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 um 40% bis 2020 reduziert werden sollen und zum anderen der Anteil der erneuerbaren Energien auf 35% des Strommixes bis 2020 und auf 80% bis 2050 ansteigen soll. Während Letzteres in greifbarer Nähe erscheint, werden die deutschen CO<sub>2</sub>-Klimaziele von Paris aufgrund steigenden Verkehrsaufkommens offenkundig verfehlt. Umso wichtiger erscheint die flexible Nutzung von sauberem Strom zur Bekämpfung der globalen Erderwärmung bzw. Schonung fossiler Ressourcen. Insbesondere in sehr sonnenreichen und windigen Zeiträumen könnte das Stromnetz destabilisiert werden. Um eine Abkopplung der jeweiligen Anlagen vom Netz zu verhindern, ist eine auf Elektrizität basierende Herstellung von Synthesegas, Chemikalien sowie künstlichen Brennstoffen erstrebenswert. Diese Strategie erfordert allerdings die Einführung hoch innovativer und flexibler Konzepte, die im Rahmen von P2X evaluiert werden. Eines davon widmet sich der Hochtemperatur H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> co-Elektrolyse zu H<sub>2</sub>/CO (Synthesegas), das als Ausgangsstoff für die Herstellung von u.a. künstlichem Diesel dient (*siehe Schema*). Die Hauptaufgabe des DECHEMA-Forschungsinstitutes (DFI) besteht darin, verkokungsresistente Katalysatoren für die Kathode der Festoxid-Elektrolysezelle (SOEC) herzustellen und deren katalytische und elektrochemische Aktivität in Abhängigkeit des H<sub>2</sub>O:CO<sub>2</sub>-Verhältnisses zu bestimmen. Der Einfluss der Feed-Zusammensetzung und Reaktionsparameter auf die Kohlenstoffbildung wird ebenfalls untersucht<sup>2</sup>. //



Kopernikus project P2X<sup>1</sup> aims to support Germany's »Energiewende« in which on one hand CO<sub>2</sub> emission has to be reduced by 40% until 2020 compared to 1990 and on the other hand contribution of renewable energy sources to electricity mix should amount to 35% by 2020 and 80% by 2050. While the latter objective appears to be accessible, it is foreseeable that CO<sub>2</sub> target of Paris conference will not be achieved mainly caused by huge increase in transportation activities. Therefore clever use of clean electricity may help to battle global warming and preserve fossil resources. Especially during sunny and windy periods, excess of renewable energy production may destabilize the grid. Instead of disconnecting a certain amount of solar farms and wind mills from the grid, this energy can be meaningfully used for producing synthesis gas, chemicals and fuels. This ambitious challenge requires, however, innovative and flexible technological concepts that will be evaluated within the P2X project. One of these concepts aims at the development of high temperature H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> co-electrolysis to H<sub>2</sub>/CO (syngas) that serves as feedstock for production of e.g. methanol, gasoline and diesel (see Figure). The main tasks of the DECHEMA Research Institute (DFI) comprises developing coking-resistant catalysts for the solid-oxide electrolysis cell (SOEC) cathode and evaluating their catalytic and electrochemical activity for different H<sub>2</sub>O:CO<sub>2</sub> molar ratios at 850 °C. The influence of feed composition and reaction parameters such as temperature and pressure on carbon formation will be studied as well<sup>2</sup>.



Prinzip der SOEC  
 H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> co-Elektrolyse  
 und Reaktionsprodukte  
 als Funktion der Synthese-  
 gaszusammensetzung

Principle of SOEC high-  
 temperature H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>  
 co-electrolysis and reaction  
 products depending on  
 syngas composition

<sup>1</sup><https://www.kopernikus-projekte.de/>

<sup>2</sup><http://dechema-dfi.de/en/2019+P2X.html>





# BEHANDLUNG VON PROZESS- UND ABWÄSSERN

## *treatment of process and waste water*

Ramona Simon M.Sc., Dr. Claudia Weidlich, Dr. Klaus-Michael Mangold  
› [simon@dechema.de](mailto:simon@dechema.de) › [weidlich@dechema.de](mailto:weidlich@dechema.de) › [mangold@dechema.de](mailto:mangold@dechema.de)



Die Behandlung von Abwässern und Prozesswässern ist einer der Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe Elektrochemie. Für ein umweltfreundliches Wassermanagement in kommunalen oder industriellen Kläranlagen sind schwer abbaubare organische Spurenstoffe, z.B. aus Arzneimittelrückständen, eine große Herausforderung. In herkömmlichen Kläranlagen können diese Spurenstoffe nicht oder nur unzureichend abgebaut werden. Daher werden neue Methoden und Ansätze benötigt, um schwer abbaubare Rückstände aus konventionell aufbereitetem Abwasser zu entfernen.

Der Abbau der organischen Spurenstoffe kann mit dem sogenannten Advanced Oxidation Process (AOP) über Radikale, die durch Reaktionen von Ozon oder Wasserstoffperoxid erzeugt werden, erreicht werden. Bor-dotierte Diamantelektroden (BDD) sind aufgrund ihrer gegenüber herkömmlichen Elektroden höheren Überspannung für die Sauerstoffentwicklung in besonderem Maße geeignet, um Radikale zu produzieren. An den BDD können in wässrigen Lösungen OH-Radikale, Peroxide, Ozon und Persäuren in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Lösung und den Reaktionsbedingungen elektrochemisch erzeugt werden.

Die Arbeitsgruppe Elektrochemie befasst sich seit vielen Jahren mit dem oxidativen Abbau von Spurenstoffen. Die Forschung wird sowohl in bilateralen Kooperationen mit der Industrie als auch in öffentlichen Projekten (z.B. AiF, BMWi, BMBF) durchgeführt. Persistente Spurenstoffe wie z.B. der Entzündungshemmer Ibuprofen und das Antiepileptikum Carbamazepin wurden bereits erfolgreich mit Hilfe von BDD abgebaut. //

One of the focal points of the Electrochemistry Group is the treatment of process and waste water. A major challenge for environmentally friendly water management is the occurrence of persistent trace organic substances e.g. from pharmaceuticals in water systems originated from municipal or industrial wastewater treatment plants. Conventional wastewater treatment plants are hardly able to remove or degrade these trace organics, because of their persistence. Therefore, new approaches are needed for the removal of trace organic substances in conventional purified wastewater.

The elimination of organic trace substances can be achieved via radicals which are generated by the reaction of ozone and hydrogen peroxide, e.g. by the advanced oxidation process (AOP). Boron doped diamond electrodes (BDD) are particularly suitable for the production of radicals due to their higher overpotential for oxygen evolution compared to conventional electrode materials. At BDD OH-radicals, hydrogen peroxide, ozone and peracids can be produced electrochemically from aqueous solutions in dependence on the reaction conditions and chemical compositions of the solutions.

The Electrochemistry Group has dealt with the oxidative degradation of pollutants for many years. Research in this field is conducted throughout bilateral industrial cooperations as well as public projects. Persistent trace organic substances from pharmaceuticals e.g. the anti-inflammatory drug ibuprofen and the anti-epileptic carbamazepine have already been degraded successfully. //

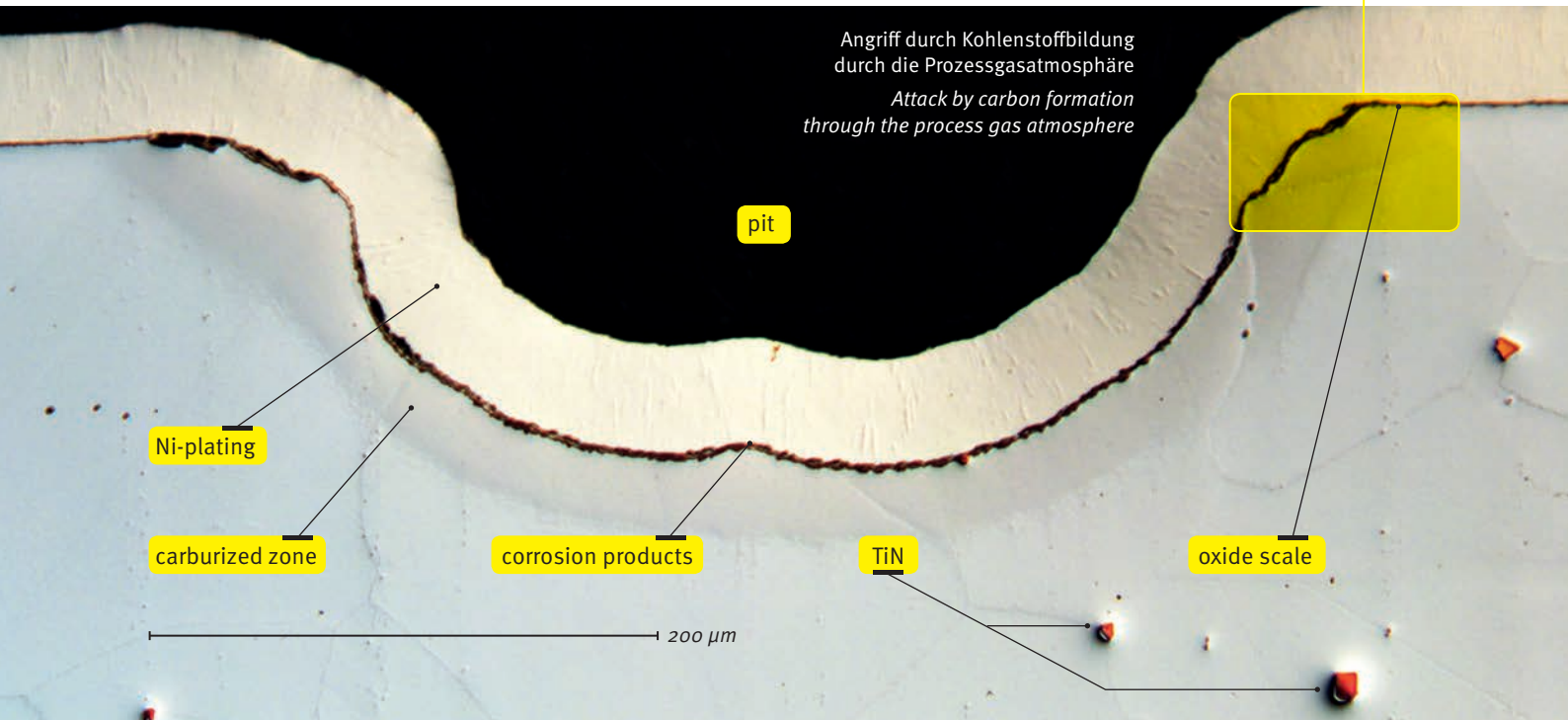
# SCHUTZ VOR METAL DUSTING DURCH TROCKENE REFORMIERUNG

## protecting against metal dusting by dry reforming

PD Dr.-Ing. Mathias Galetz  
> galetz@dechema.de

Rechts: Querschliff und Elementverteilung einer unter Druck ausgelagerten Alloy 800 Probe; zu beachten ist insbesondere die Kohlenstoffanreicherung im Material

Right: Cross-section of a pit and element distribution in the subsurface zone; note the carbon uptake in alloy 800 exposed under metal dusting conditions



Der Einsatz von neuartigen Katalysatoren macht das sogenannte Trockenreformierverfahren zur Synthesegasproduktion technisch sehr interessant. Bei dem Verfahren wird besonders hochwertiges Kohlenmonoxid (CO)-reiches Synthesegas mit einem  $H_2/CO$ -Verhältnis zwischen 2:1 und 1:1 gewonnen, das gegebenenfalls mit Wasserstoff aus der Elektrolyse auf die jeweils optimalen Verhältnisse verdünnt werden kann.

CO-reiche Synthesegase sind für die chemische Industrie von großer Bedeutung, da sie die Ausgangsstoffe für zahlreiche Synthesen wie beispielsweise die Fischer-Tropsch-Synthese zur Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe darstellen.

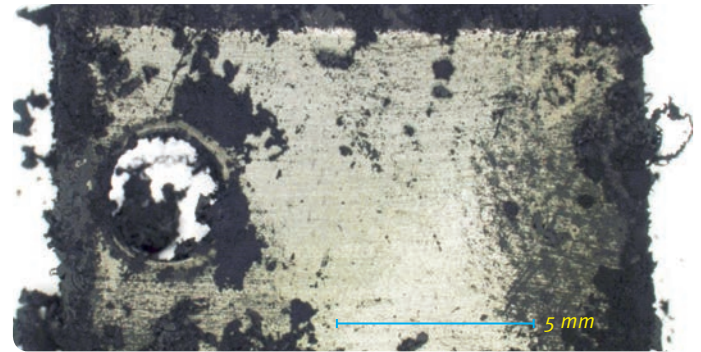
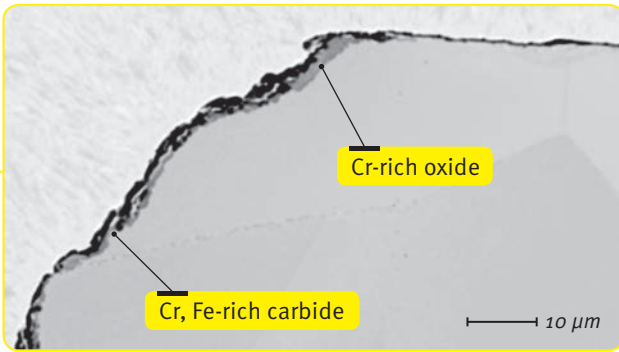
Das Trockenreformierverfahren stellt einen großen Schritt in der Weiterentwicklung ressourcenschonender Technologien dar: Kohlendioxid ( $CO_2$ ) wird energieeffizient stofflich verwertet, und der fossile Kohlenstoffbedarf kann deutlich verringert werden.

Der gesamte Prozess erfolgt unter hohem Druck, was zum einen den Vorteil bietet, dass keine Nachverdichtung des Prozessgases nötig ist, zum anderen stellt es aber eine

The use of novel catalysts in dry reforming processes to syngas production is technically very interesting. The process generates particularly high-quality carbon monoxide (CO)-rich synthesis gas with a  $H_2/CO$  ratio between 2:1 and 1:1, which can be diluted with hydrogen from the electrolysis to reach the optimum composition. CO-rich synthesis gases are of great importance for the chemical industry, since they are the precursor materials for numerous syntheses such as the Fischer-Tropsch synthesis for the production of liquid hydrocarbons.

The dry reforming process represents a major step in the development of resource-saving, more sustainable technologies: Carbon dioxide ( $CO_2$ ) is recycled in an energy-efficient way and the fossil carbon demand can be significantly reduced.

The entire process takes place under high pressure, which on the one hand offers the advantage that no recompression of the process gas is necessary; on the other hand, however, it represents an extreme challenge to the design of the plant components from a materials science point of view. High-carbon-containing gases, in particular in the »downstreaming« region, pass through a temperature range in



große wissenschaftliche Herausforderung für das Werkstoffdesign der verwendeten Anlagenteile dar.

Insbesondere im »Down Streaming«-Bereich durchlaufen hochkohlenstoffhaltige Gase einen Temperaturbereich, in dem eine besonders aggressive Form der Hochtemperaturkorrosion auftreten kann, das sog. »Metal Dusting«. Dabei verursacht ein hoher Kohlenstoffeintrag in den Werkstoff die Ausscheidung von Graphit in der Mikrostruktur, was zu einer Volumenvergrößerung und damit einhergehenden Spannungen im Material führt. Der Werkstoff zerfällt letztlich zu einem Staub aus Metallpartikeln, Graphit und losen Rußpartikeln. Da es kaum möglich ist, Ort und Zeitpunkt eines »Metal Dusting«-Angriffs vorauszusagen, wurden im Rahmen dieses Projekts am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) Tests unter den aggressiven Prozessbedingungen durchgeführt. Auch die zu Grunde liegenden Schädigungsmechanismen waren bisher noch wenig untersucht, da insbesondere der hohe Druck eine große Herausforderung darstellt, nicht nur an die Werkstoffe, sondern auch im Hinblick auf die Prüftechnik.

Aus den so gewonnenen Ergebnissen wird eine optimale Werkstoffempfehlung für die einzusetzenden Anlagenteile getroffen, um einen sicheren Langzeitbetrieb des Prozesses zu gewährleisten. Daneben wurden die ersten Ergebnisse zu einer für diese Bedingungen entwickelten Beschichtung ebenso wie zu den zugrundeliegenden Mechanismen des Angriffs bereits publiziert (siehe Literaturhinweise).

Die Arbeiten zu Metal Dusting unter Druck liefen im Rahmen eines großen vom BMWi geförderten Verbundprojekts zwischen den Industriepartnern BASF SE, Linde AG und hte GmbH sowie den Forschungsstellen DFI und Karlsruher Institut für Technologie (KIT). //

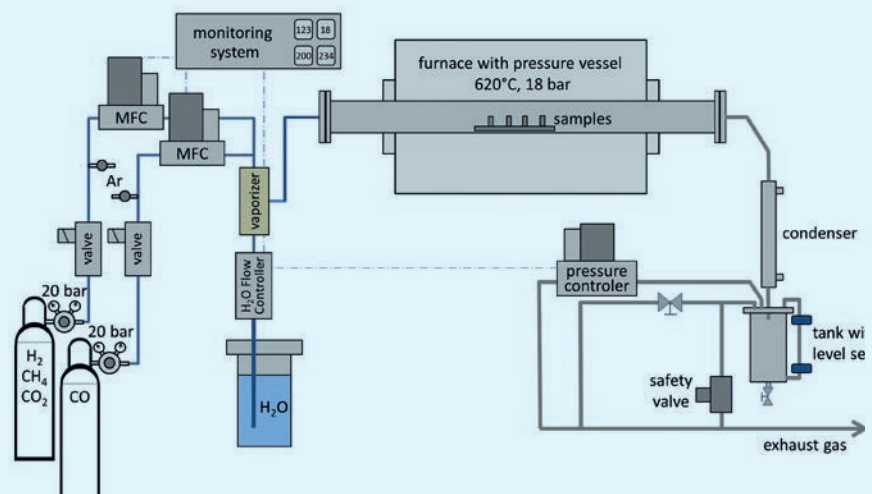
which a particularly aggressive form of high-temperature corrosion can occur, the so-called »metal dusting«. In this case, the high carbon pressure causes the precipitation of graphite within the microstructure of alloys, which leads to an increase of volume and to associated stresses in the material. The material ultimately disintegrates into a dust of metal particles, graphite, and loose soot particles. Since it is almost impossible to predict the location and timing of a metal dusting attack, this project at DECHEMA Research Institute (DFI) included tests under the aggressive process conditions. Also the underlying damage mechanisms have not been well understood, because the high pressure challenges not only the materials, but also the testing technology.

From the results obtained, an optimal material recommendation for the system components to be used is developed in order to ensure safe long-term operation of the process. In addition, a coating approach developed for such conditions as well as the first results of the underlying mechanisms of the attack have already been published (see references).

The results on metal dusting under pressure have been conducted within the framework of a large joint project sponsored by the BMWi, involving the industrial partners BASF SE, Linde AG, and hte GmbH as well as the research centres DFI and Karlsruhe Institute of Technology (KIT). //

S. Madloch, M.C. Galetz, *Microstructural evolution of germanium modified AlSi-slurry coatings on alloy 600 at 620 °C in metal dusting environment*, *Surface and Coatings Technology* 315 (2017), 335-341  
 S. Madloch, A.S. Dorcheh, M.C. Galetz, *Effect of Pressure on Metal Dusting Initiation on Alloy 800H and Alloy 600 in CO-rich Syngas*, *Oxidation of Metals* 89 (2018), 483-498

Schema der Druckapparatur  
 Schema of the pressurized testing facilities



FOCUS

# KORROSIONSSCHUTZ GEGEN VANADATE UND H<sub>2</sub>S IM PROZESS DER PARTIELLEN OXIDATION

*corrosion protection against vanadates  
and H<sub>2</sub>S in the partial oxidation process*

PD. Dr.-Ing. Mathias Galetz  
› [galetz@dechema.de](mailto:galetz@dechema.de)

PD Dr. Mathias Galetz  
diskutiert den industriellen  
Beschichtungsprozess  
mit Industrievertretern

*Assoc. Prof. Galetz  
discusses the coating  
process with industry  
experts on site*



*Querschliff eines korrodierten Rohres  
mit den Anlagerungen*

*Cross-section of a corroded tube  
(uncoated material) with salt deposits*

*Das Rohrinne nach der Beschichtung*

*Inside of the coated tube*



Angesichts der weltweiten Verknappung von Rohstoffen geraten bisher nicht ressourcen-effizient genutzte Energieträger wie beispielsweise Raffinerierückstände, Ölschlämme oder Ölsande ins Blickfeld als mögliche Ausgangsstoffe für die chemische Industrie.

Das Hauptproblem bei der Nutzung dieser Schwerstölfraktionen als Energieträger ist üblicherweise die starke Schwefel- und Schwermetallbelastung. Trotzdem werden sie derzeit primär für zwei Anwendungen verwendet: Zum einen werden sie bei hohem  $\text{SO}_2$ -Ausstoß in Schiffsdieseln außerhalb der Zwölfmeilenzone verfeuert, zum anderen können sie über partielle Oxidation in Synthesegas verwandelt werden, einem idealen Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Dieser Weg ist in vielerlei Hinsicht vorteilhaft; jedoch zeigen die Anlagen häufig nach weniger als einem Jahr Laufzeit große Schäden in Form von Durchbrüchen. Die Werkstoffe halten dem hohen Schwefelwasserstoff-Gehalt im Synthesegas nach der partiellen Oxidation und den Schlacke-Ablagerungen durch die Schwermetallverunreinigungen schlicht nicht stand. Deshalb müssen die eingesetzten Abhitzeessel mangels eines wirksamen Korrosionsschutzkonzepts häufig nach weniger als 10.000 Betriebsstunden kostenintensiv getauscht werden. Die Folge sind nicht nur Anlagenstillstände, sondern auch die Vergeudung von Ressourcen sowohl auf der Werkstoffseite (ca. 40t Stahl pro ausgetauschtem Abhitzeessel) als auch bezüglich der für den Prozess aufgewendeten Energie, denn besonders das Anfahren der Anlagen ist mit einem erhöhten Energieverbrauch sowie erhöhten Emissionen und Belastungen verbunden.

In einem gemeinsamen Projekt der Firmen Yara Brunsbüttel, Borsig, Air Liquide und der Arbeitsgruppe Hochtemperaturwerkstoffe des DECHEMA-Forschungsinstituts (DFI) wurde ein wirkungsvolles Korrosionsschutzkonzept für kostengünstige niedriglegierte Werkstoffe für derartige Anlagen zur Gewinnung von Energie und chemischen Vorprodukten aus Reststoffen entwickelt.

In diesem durch das BMBF im Rahmen der Initiative »Matressource« geförderten Projekt »VANTOM« (Vanadium ash tolerant materials) wurde ausgehend von Laborversuchen und thermodynamischen Berechnungen am DFI eine wirkungsvolle Schutzschicht entwickelt und aus dem Labor auf die Rohwendeln eines ca. 8 m hohen Abhitzeessels übertragen.

Für die Applikation war es zudem notwendig, eine verfahrenstechnisch völlig neue Prozessroute auszuarbeiten und umzusetzen. Sie erlaubt nun, die neuartigen Beschichtungen auf beliebig dimensionierte Bauteile aufzubringen. Die neuartige Schicht schützt diesen Kessel vor der Korrosion durch Vanadiumoxide, Sulfatablagerungen und dem  $1.400^\circ\text{C}$  heißen Schwefelwasserstoff-Synthesegasgemisch. //

In view of the global shortage of resources, energy sources that have not been used in a resource-efficient manner, such as refinery residues, oil sludges, or oil sands, are becoming potential precursor materials for the chemical industry.

The main problem with the use of these heavy oil fractions as energy sources is usually their high sulphur and high heavy metal contamination. Nevertheless such crude oils are currently primarily used for two applications: They are fired in marine diesels outside the twelve miles zone, associated with high  $\text{SO}_2$  emissions, or they can be converted via partial oxidation to syngas – an ideal feedstock for the chemical industry. This way of usage is highly beneficial in many ways; however the employed boiler systems often show major damage in the form of metal wastage after less than a year of operation. The materials simply cannot withstand the high hydrogen sulphide content in the synthesis gas after the partial oxidation in combination with slag deposits due to heavy metal impurities.

Lacking an effective corrosion protection concept, the heat recovery boilers often have to be exchanged or repaired at high cost after less than 10,000 hours of operation. The consequences are not only plant shutdowns, but also the waste of resources both on the materials side (about 40 tonnes of steel per exchanged waste heat boiler) and in terms of the energy used for the process, because especially the start-up of the plants is associated with an increased energy consumption and increased emissions.

In a joint project between Yara Brunsbüttel, Borsig, Air Liquide, and the High-Temperature Materials Group of the DECHEMA Research Institute (DFI), an effective corrosion protection concept was developed for inexpensive low-alloy steels for such plants.

The project »VANTOM« (vanadium ash tolerant materials) was funded by the BMBF within the framework of the »Matressource« initiative, in which an effective protective layer was developed on the basis of laboratory tests and thermodynamic calculations at the DFI and was transferred from the laboratory to a prototype of a coiled tubing of approx. 8 m length now in use within a boiler at Yara Brunsbüttel.

For this scale-up it was necessary to develop and implement a completely new process route that now allows the novel coatings to be applied to components with large dimensions. The novel coating protects this boiler against corrosion by vanadium oxides, sulphate deposits, and by the  $1,400^\circ\text{C}$  hot hydrogen sulphide-carbon monoxide-hydrogen gas mixture. //

X. Montero, I. Demler, V. Kuznetsov, M.C. Galetz  
*Factors governing slurry aluminization of steels*  
*Surface and Coatings Technology* 309 (2017), 179-186

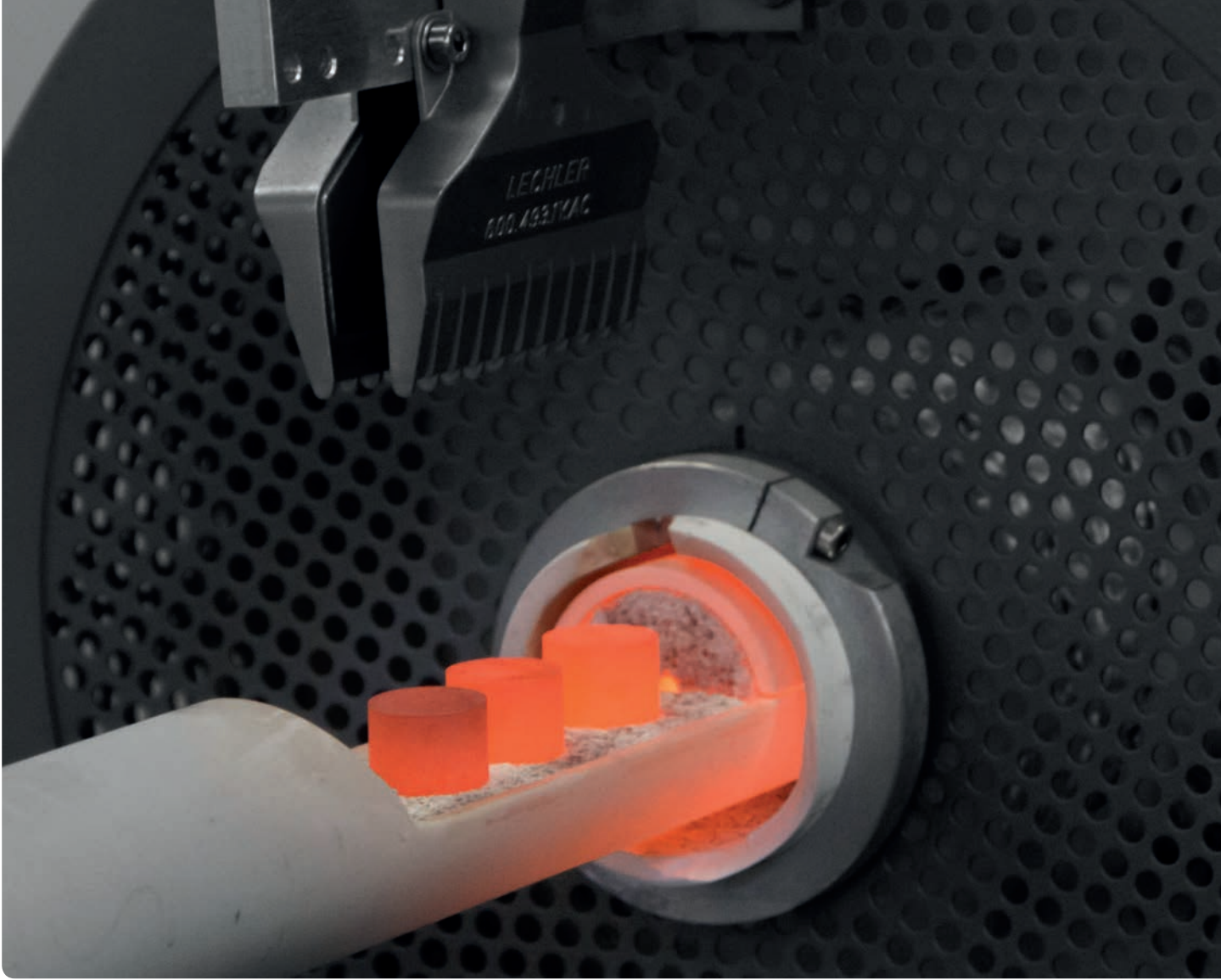
X. Montero, M.C. Galetz  
*Coatings for Boiler Components Exposed to Vanadium-Containing Oil Ash in Oxidizing Atmosphere*  
*Oxidation of Metals* 87 (2017), 717-727

X. Montero, M.C. Galetz  
*Effect of Different Vanadate Salt Composition on Oil Ash Corrosion of Boilers*  
*Oxidation of Metals* (2017), DOI 10.1007/s11085-017-9795-4

X. Montero, M.C. Galetz  
*Inhibitors and coatings against vanadate-containing oil ash of boilers*  
*Surface and Coatings Technology* 304 (2016), 211-221

M.C. Galetz, X. Montero  
*Vanadium Induced Corrosion in the Partial Oxidation (POX) Process in »Proceedings of Corrosion 2015«* (2015), NACE

X. Montero, M.C. Galetz  
*Vanadium-Containing Oil Ash Corrosion of Boilers Under Oxidizing and Syngas Atmospheres*  
*Oxidation of Metals* 83 (2015), 485-506



# DECHEMA-ZENTRUM FÜR **KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ**

*dechema corrosion  
and protection centre*

PD Dr.-Ing. Wolfgang Fürbeth  
> fuerbeth@dechema.de

Das DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) betreibt seit mehr als 50 Jahren Korrosionsforschung und bietet damit optimale Voraussetzungen, um von den elektrochemischen Grundlagen und Messmethoden über nanotechnologische Ansätze bis hin zu den Werkstoffwissenschaften mit Fokus auf Hochtemperaturwerkstoffe die notwendigen Expertisen zusammenzuführen. Um diese der Industrie in gebündelter Form anbieten zu können, werden sie nunmehr im DECHEMA-Zentrum für Korrosion und Korrosionsschutz etabliert.

Dieses greift auf die einmalige hausinterne Kombination an Kompetenzen in der elektrolytischen Korrosion, der Hochtemperaturkorrosion, der Elektrochemie und gegebenenfalls auch der Biologie zurück. Als horizontale Querschnittsdisziplin ist weiterhin die Materialcharakterisierung hervorzuheben, für die ein breites Portfolio an analytischer Ausstattung zur Verfügung steht. Sinnvoll ergänzt wird dies durch die Korrosionsdatensammlungen (DECHEMA-Werkstofftabelle, Corrosion Handbook) und die Zentralen der deutschen (GfKORR), europäischen (EFC) und weltweiten Korrosionscommunity (WCO) beim DECHEMA e.V.

Das DFI bietet damit Werkstoff- und Korrosionsforschung aus einer Hand, von der Neuentwicklung von Werkstoffen und Schutzmaßnahmen über die Korrosionsuntersuchung und -prüfung bis zur Schadensaufklärung. So wird die gesamte Lebensdauer von Werkstoffen in verschiedensten industriellen Umgebungen und über den gesamten Temperaturbereich abgebildet. //

The DECHEMA Research Institute (DFI) has been doing corrosion research for more than 50 years now. Thus it offers the best conditions to unite the necessary expertise in electrochemical basics and methods, chemical nanotechnology as well as materials technologies with a special focus on high temperature materials. In order to make this expertise usable for industrial partners it will now be brought to market as DECHEMA Corrosion and Protection Centre.

This centre benefits from a unique internal combination of competencies in electrolytic corrosion, high temperature corrosion, electrochemistry and biology. As a cross-sectional expertise, materials characterisation is used based on a large portfolio of analytical equipment. This is complemented reasonably by the corrosion data collections (DECHEMA-Werkstofftabelle, Corrosion Handbook) and the head offices of the German (GfKORR), European (EFC) as well as worldwide corrosion community (WCO) as provided by DECHEMA e.V. Thus DFI offers one-stop materials and corrosion research, starting with the development of new materials and protection measures corrosion investigations and corrosion testing as well as failure analysis. By this we cover the whole lifetime of materials in very different industrial environments and over the whole temperature range. //



Die Chemie braucht neue, effiziente und nachhaltige Syntheserouten – Photokatalyse ist die Lösung. Dabei wird Energie in Form von Licht in die Reaktion eingebracht. Photonen hinterlassen keine Rückstände in der Reaktion, und sie kann unter sehr milden Bedingungen durchgeführt werden, sogar bei Raumtemperatur. Da liegt die Kombination von Photokatalyse und Enzymkatalyse natürlich nahe, und die bietet einzigartige Vorteile. Die effektive Energieeinkopplung der Photokatalyse und die unschlagbare Selektivität der Enzyme können damit in einem Prozess kombiniert werden. Das wurde vor kurzem vom DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) in Kooperation mit der TU Delft an einer Modellreaktion demonstriert: Bei der stereo-selektiven Hydroxylierung von Ethylbenzol wurde im Kombinationsverfahren Vollumsatz erreicht [Zhang et al. 2017]<sup>1</sup>.

Sollen solche Reaktionen technisch angewendet werden, muss das Licht effizient und möglichst gleichmäßig in das Reaktionsmedium eingebracht werden. Wie im heimischen Gartenteich dringt das Licht nur wenige Millimeter tief in die Flüssigkeit ein. Photokatalytische Reaktionen können deshalb nicht ohne weiteres in höhere Dimensionen skaliert werden. Am DFI wird aktuell ein Ansatz entwickelt, mit dem photokatalytische Reaktionen auch in Standard-Reaktoren möglich sind. Dazu werden LEDs in fingernagelgroße Kunststoff-Kugeln verpackt, die auch gleich mit dem Photokatalysator beschichtet sind. Die Lichtemitter werden durch resonanzgekoppelte Induktion angetrieben. So können sie wie Fische im Gartenteich frei im gesamten Reaktionsraum schwimmen und die Lichtenergie besonders effizient eintragen [Burek et al. 2017]<sup>2</sup>.//



<sup>1</sup>W. Zhang, B. O. Burek, E. Fernández-Fueyo, M. Alcalde, J. Z. Bloh, F. Hollmann  
*Selective Activation of C–H Bonds in a Cascade Process Combining Photochemistry and Biocatalysis*  
*Angewandte Chemie International Edition*, 56 (2017), 15451–15455  
DOI: 10.1002/anie.201708668 / 10.1002/ange.201708668 (dt. Version)

<sup>2</sup>B. O. Burek, A. Sutor, D. W. Bahnemann, J. Z. Bloh  
*Completely integrated wirelessly-powered photocatalyst-coated spheres as a novel means to perform heterogeneous photocatalytic reactions*  
*Catalysis Science & Technology*, 7 (2017), 4977-4983  
DOI: 10.1039/c7cy01537b

The chemical industry is in need of new, efficient and sustainable synthesis routes – photocatalysis could provide the solution. In these reactions, the required energy is supplied contact-free in the form of light. Photons do not leave residues in the reactions which can be performed under very mild conditions, even at ambient temperature. This in turn enables the combination of photocatalysis with enzymes, which offers the unique advantage of combining the effective energy transfer of photocatalysis and the unmatched selectivity of the enzymes in a single process. This was recently demonstrated with a model reaction in cooperation of DECHEMA Research Institute (DFI) and TU Delft: The stereoselective hydroxylation of ethyl benzene proceeded with full conversion in the combined photoenzymatic process [Zhang et al. 2017]<sup>1</sup>.

However, the technical application of such processes requires an effective means to evenly introduce the light into the reaction medium. Unfortunately, similarly to your local garden pond, the light only permeates a few millimetres into the strongly absorbing medium. Therefore, photocatalytic reactions cannot be easily scaled into larger dimensions. The DFI currently develops an innovative approach that enables the application and up-scaling of photocatalytic reactions even in standard reactors. This is achieved by packing LEDs into small polymer shells the size of only a fingernail and directly coating them with the photocatalyst on the outside. These light emitters are powered by resonant inductive coupling, the same technology many might be familiar with from wireless mobile chargers. This enables the light emitters to freely move inside the reaction medium and evenly distribute the light throughout the entire volume, unchained by any physical connections [Burek et al. 2017]<sup>2</sup>.//



# FREISCHWIMMER FÜR DIE PHOTOKATALYSE

*free floating photocatalysis*

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



# MIKROBEN IN LÖSUNGSMITTELN

## *microbes in organic solvents*

Florence Schempp M.Sc.  
› [schempp@dechema.de](mailto:schempp@dechema.de)

Operation erfolgreich – Patient tot. Für ihre wirtschaftliche Nutzung in der Industrie müssen Mikroben biotechnologisch zu Hochleistungsproduzenten getrimmt werden. Die »unnatürlich« hohen Produktkonzentrationen sind jedoch häufig toxisch für die Zellen. Die meisten Mikroben, wie etwa *E. coli* und *Saccharomyces cerevisiae*, reagieren hochempfindlich gegenüber Monoterpenoiden. Die wirken in hoher Konzentration wie organische Lösungsmittel und das verträgt der »Patient« Mikrobe gar nicht gut. Niedrig konzentriert verleihen Monoterpenoide zum Beispiel Orangen und Pfefferminze ihren charakteristischen Duft. Deshalb sind sie beliebt als Duft- und Aromastoffe, werden aber auch in Medizin und Landwirtschaft eingesetzt.

Einige wenige Mikroorganismen wie das Bodenbakterium *Pseudomonas putida* können aber doch in Anwesenheit solcher Substanzen wachsen. Sie sind ein guter Ausgangspunkt für die Entwicklung von solventtoleranten Produktionsstämmen. Die Bakterien schützen sich durch mehrere

Operation successful, patient dead. In biotechnology, microorganisms quite often perish from their own products. This is called product toxicity. Most microbes, such as *E. coli* and *Saccharomyces cerevisiae* are very sensitive against monoterpenoids. In high concentrations, they act like organic solvents and the »patient« microbe doesn't cope well with those. In low concentrations, monoterpenoids are responsible for the characteristic smell of oranges or peppermint. Therefore they are popular as flavors and fragrances, but are also used in medicine and agriculture. Very few microorganisms such as the soil bacterium *Pseudomonas putida* can actually grow in the presence of these substances. Those microbes are a good starting point for the development of solvent tolerant production strains. The bacteria protect themselves against the solvent's cytotoxic effect by multiple factors. One of them is the activation of specific efflux pumps to remove foreign substances from the cells.



Faktoren vor der cytotoxischen Wirkung der Lösungsmittel. Einer davon ist die Aktivierung von spezifischen Export-Pumpen, die die Fremdstoffe aus den Zellen beseitigen.

Native und rekombinante *P. putida*-Stämme waren schon öfter die Stars in biotechnologischen Prozessen zur Umwandlung erneuerbarer Rohstoffe<sup>1</sup>. Am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) wurden sie für die Produktion der Monoterpenoide Perilla-<sup>2-4</sup> und Geraniumsäure<sup>5</sup> oder Hydroxy-1,8-cineol<sup>6</sup> genutzt. Der Naturstoff Perillasäure dient als hautfreundliches Konservierungsmittel in Cremes und Shampoos. Derzeit wird am DFI untersucht, wie genau die Mechanismen der hohen Monoterpenoid-Toleranz von *P. putida* funktionieren. Daraus können dann maßgeschneiderte Prozesse entwickelt werden, bei denen das Problem der Produkttoxizität gar nicht erst auftritt. //

Native and recombinant *P. putida* strains have been the stars in several biotechnological processes for the conversion of renewable resources<sup>1</sup>. At DECHEMA Research Institute (DFI) they have been used for the production of the monoterpenoids perillic acid<sup>2-4</sup> and geranic acid<sup>5</sup> or hydroxy-1,8-cineole<sup>6</sup>. Perillic acid is a skin-friendly preservative used in lotions and shampoos. Currently research is under way at DFI to elucidate how exactly the mechanisms of monoterpenoid tolerance work in *P. putida*. From there tailored bioprocesses are developed which don't have the problem of product toxicity in the first place. //

<sup>1</sup> Pobleto-Castro, I. et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 93, 2279–2290 (2012) <sup>2</sup> Speelmans, G. et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 50, 538–544 (1998) <sup>3</sup> Mars, A. E. et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56, 101–107 (2001) <sup>4</sup> Mirata, M. A. et al. *Process Biochem.* 44, 764–771 (2009) <sup>5</sup> Mi, J. et al. *Microb. Cell Fact.* 13, 170 (2014) <sup>6</sup> Mi, J. et al. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 32, 1–12 (2016).

# REDOX-FLOW MONITORING

## *redox flow monitoring*

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



Redox-Flow-Batterien (RFB) sind eine neue und vielversprechende Technologie, um Speicherkapazität für erneuerbare Energien günstig bereitstellen zu können. Die Vorteile von Redox-Flow-Batterien liegen in der unabhängigen Skalierbarkeit von Kapazität und Leistung und in der geringen Selbstentladung. In einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB) wird ausschließlich Vanadium in vier Oxidationsstufen für die Redoxpaare eingesetzt. Dies schließt eine Kreuzkontamination der Redoxpaare aus und erhöht die Lebensdauer der Batterie. Nachteilig sind dabei jedoch die hohe Korrosivität des Elektrolyten und damit verbunden hohe Anforderungen an die eingesetzten Materialien sowie die Selbstentladung der Batterie durch die permeable Membran. Um einen effizienten und langfristig stabilen Betrieb von VRFB-Systemen zu ermöglichen und zu untersuchen, ist jedoch auch die Kenntnis des Ladezustandes (State of Charge, SOC) der Batterie zu jedem Zeitpunkt des Betriebes unerlässlich. Auch die Verringerung der Leistungsfähigkeit und Kapazität der Batterie durch Crossover des Elektrolyten durch die Membran kann durch das Monitoring des Ladungszustandes erfasst und verfolgt werden.

Der Ladungszustand von VRFB kann stromlos aus der Zellspannung zwischen der Anode und der Kathode ermittelt werden. Dies ist jedoch nicht während des Ladens und Entladens, bzw. während des Betriebs der Batterie möglich. Zur Bestimmung des SOC über die Zellspannung müsste die Batterie abgeschaltet werden, daher ist diese Methode für die praktische Anwendung ungeeignet. Auch Methoden, die eine Probennahme und ex situ Bestimmung des SOC ermöglichen, wie z.B. eine Redox-Titration des Elektrolyten, sind aufgrund des hohen Aufwandes und der großen Zeitspanne von der Probennahme bis zur Kenntnis des Ladungszustandes nicht geeignet.

Die Arbeitsgruppen Elektrochemie und Technische Chemie forschen an verschiedenen Projekten zur Optimierung von VRFB und zur Entwicklung von neuen Redox-Flow-Systemen. Dazu werden auch Methoden zur direkten Erfassung des SOC in situ erarbeitet. UV-Vis-Spektroskopie und Referenzelektrodenmessungen werden hier erforscht und optimiert, um zuverlässig den SOC der VRFB wieder zu geben. Eine völlig neue Methode zur Ermittlung des SOC sind Dichtemessungen im Elektrolyten<sup>1</sup>, die in einem BMBF-geförderten Gemeinschaftsprojekt mit dem Projektpartner HAW Hamburg zum Einsatz kamen. Module zur Dichtemessungen werden aktuell in den VRFB-Teststand am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) integriert und sollen im Rahmen des BMWi-geförderten Projektes »DegraBat« Aufschluss über eine Alterung des Elektrolyten geben. //

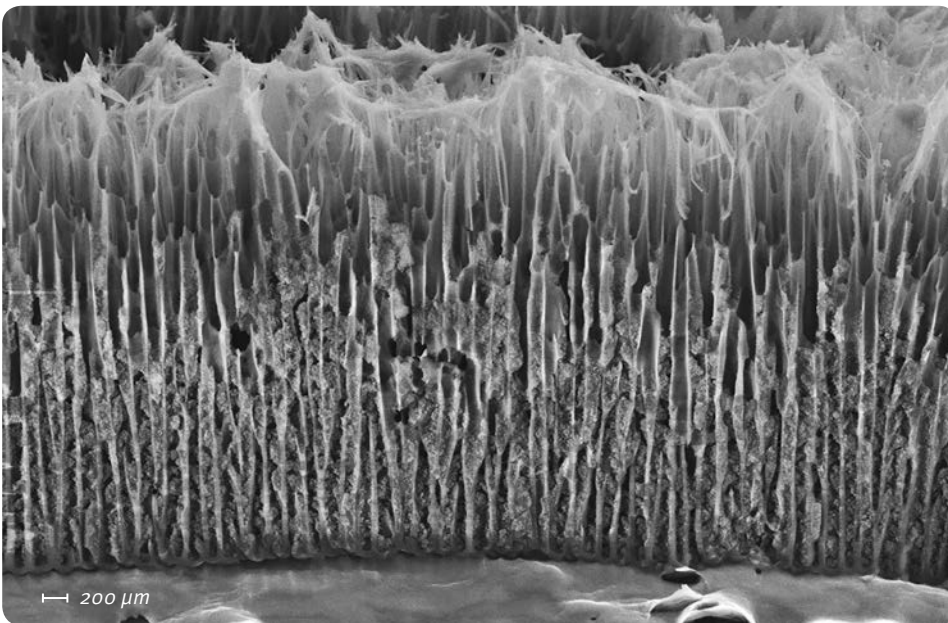
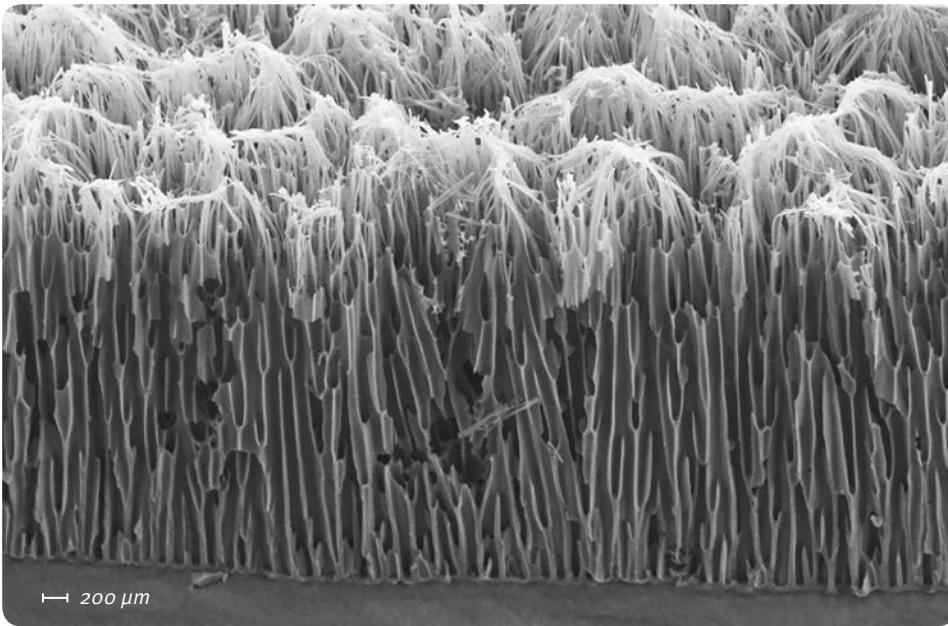


Redox flow batteries (RFBs) are a new and promising technology to provide cost-effective storage for renewable energy. The advantages of redox flow batteries are independent scalability of power and capacity and low self-discharge. In a vanadium redox flow battery (VRFB), four different oxidation states of vanadium are used as redox couples. This diminishes the cross-contamination of redox couples and increases the lifetime of the battery. Disadvantages of VRFB are the high corrosiveness of the electrolyte and therefore high requirements for the materials used as well as the self-discharge of the battery through the permeable membrane. In order to achieve efficient and stable long-term operation of VRFB system, it is important to know the state of charge (SOC) of the battery anytime during the operation. Decrease in battery efficiency and capacity by electrolyte cross-over through the membrane can be also detected and tracked by monitoring the SOC.

The state of charge of VRFB can be determined by the open circuit cell voltage between anode and cathode. However, this is not possible simultaneously with charging and discharging of the battery. To determine the SOC by cell voltage, the battery would have to be turned off, which is not suitable for practical use. Also, methods which require sampling and ex situ determination of SOC, such as redox titration of the electrolyte, are not suitable because of high effort and duration.

The research groups Electrochemistry and Technical Chemistry are working on various projects for the optimization of VRFB and the development of new redox flow systems. This includes the development of methods for direct in situ SOC detection. UV-Vis spectroscopy and reference electrode measurements are studied and optimized to determine reliable SOC of the VRFB. A new and promising method for SOC determination is the density measurement of the electrolyte<sup>1</sup>, which has been established within a BMBF-funded joint project at the project partner HAW Hamburg. Modules for density measurements are currently integrated in the VRFB test rig at the DECHEMA Research Institute (DFI) and are expected to provide information about aging of the electrolyte in the framework of the BMWi-funded project »DegraBat«.

<sup>1</sup> State of charge monitoring of vanadium redox flow batteries using half cell potentials and electrolyte density, S. Ressel, F. Bill, L. Holtz, N. Janshen, A. Chica, C. Weidlich, T. Struckmann, *Journal of Power Sources*, Volume 378, 28 February 2018, Pages 776-783



*Anodisierschicht auf AA 1050 vor (oben) und nach (unten) Imprägnierung mit SiO<sub>2</sub>-Nanopartikeln*  
*Anodizing layer on AA 1050 before (above) and after (below) impregnation with SiO<sub>2</sub>-nanoparticles*

# VERBESSERTER ANODISIERERSCHICHTEN DURCH IMPRÄGNIERUNG MIT NANOPARTIKELN

## *improved anodizing layers by impregnation with nanoparticles*

Adrian Anthes M.Sc.  
› [anthes@dechema.de](mailto:anthes@dechema.de)



Aluminiumwerkstoffe spielen im konstruktiven Leichtbau in der Automobil- und Luftfahrtindustrie, bedingt durch ihre geringe Dichte von  $2,6 - 2,8 \text{ g/cm}^3$  und ihre guten mechanischen Eigenschaften, eine wichtige Rolle. Außerdem weisen Aluminiumwerkstoffe im Allgemeinen eine vergleichsweise hohe Korrosionsbeständigkeit auf. Diese ist allerdings nur in einem pH-Bereich von  $4,5 - 8,5$  gegeben, da bei niedrigeren oder höheren pH-Werten die das Substrat schützende Aluminiumoxidschicht aufgelöst wird.

Um die Korrosionsbeständigkeit von Aluminiumwerkstoffen zu erhöhen, wird häufig die natürliche Oxidschicht durch Anodisieren künstlich verstärkt. Die dabei entstehenden offenporigen Schichten müssen anschließend versiegelt werden, um einen hohen Korrosionsschutz zu gewährleisten. Dafür werden die Anodisierschichten kalt (chemisch) oder heiß (Wasserdampf) verdichtet, wodurch die offenporige Struktur geschlossen wird.

Ein vollständiger Verschluss der offenen Porenstruktur ist jedoch für einige Anwendungen, wie das Verkleben von Teilen im Flugzeugbau, nicht erwünscht, da hierbei der Klebstoff nicht in die Porenstruktur eindringen und keine maximale Adhäsion entfalten kann. Soll nun der Korrosionsschutz im Vergleich zu herkömmlichen Anodisierschichten erhöht werden, ohne die Porenstruktur vollständig zu schließen, können nanopartikuläre Imprägnierungen eingesetzt werden, die ein darauffolgendes Verkleben ermöglichen. Dies konnte in einem früheren Vorhaben der Arbeitsgruppe Korrosion mit dem Fraunhofer IKTS gezeigt werden. Das dabei entwickelte Imprägnierverfahren soll nun auch dazu eingesetzt werden, der Anodisierschicht eine höhere Beständigkeit gegenüber sehr sauren oder basischen Medien (z.B. Reinigern) zu verleihen. //

Aluminum materials play an important role in lightweight construction in the automotive and aerospace industries, due to their low density of  $2.6 - 2.8 \text{ g/cm}^3$  and their mechanical qualities. In addition, aluminum materials generally have a relatively high corrosion resistance. However, this is only given in a pH range of  $4.5 - 8.5$ , because at lower or higher pH levels the substrate protecting alumina layer is dissolved.

In order to increase the corrosion resistance of aluminum materials, the natural oxide layer is often artificially reinforced by anodizing. The resulting open-pored layers must then be sealed to ensure high corrosion protection. For this, the anodizing layers are treated cold (chemically) or hot (steam), whereby the open-pore structure is closed.

However, complete closure of the open pore structure is undesirable for some applications, such as bonding of parts in aircraft construction, since the adhesive cannot penetrate into the pore structure and develop its maximum adhesion. If corrosion protection should be increased in comparison to conventional anodization layers without completely closing the pore structure, nanoparticulate impregnations may be used which allow subsequent bonding. That was proved in a former project of the Corrosion Group together with Fraunhofer IKTS. The resulting impregnation process will now also be used to give the anodizing layer a higher resistance to very acidic or basic media (e.g. cleaners). //

# CO<sub>2</sub> ZU TERPENEN AUS ABGASEN WERDEN BASISCHEMIKALIEN

*co<sub>2</sub> to terpenes  
from waste gas to platform  
chemicals*

Dr.-Ing. Dirk Holtmann  
> [holtmann@dechema.de](mailto:holtmann@dechema.de)







Forschern des DECHEMA-Forschungsinstituts (DFI) ist es erstmals gelungen, aus  $\text{CO}_2$  und Strom mit Hilfe von Mikroorganismen Terpene als Basischemikalien herzustellen. Diese Forschungsarbeiten wurden im Januar in dem renommierten Journal *Angewandte Chemie* publiziert (<https://doi.org/10.1002/anie.201711302>). Hier wurde der Stoffwechsel des Organismus *Cupriavidus necator* so verändert, dass dieser nun in der Lage ist, das Terpen Humulen als Beispielprodukt herzustellen.

Die biotechnologische Produktion von Kraftstoffen und Chemikalien hängt bisher hauptsächlich von Zucker als Kohlenstoff- und Energiequelle ab. Aufgrund von Preisschwankungen und der Diskussion »Nahrung oder Brennstoff« sind alternative Kohlenstoffquellen für die Herstellung von Biochemikalien zunehmend gefragt. Verschiedene Kohlenstoff- und Energiequellen wurden im letzten Jahrzehnt untersucht (z.B. Synthesegas, Methan, Lignocellulose). Ziel der Arbeitsgruppe Industrielle Biotechnologie ist die Entwicklung einer  $\text{CO}_2$ -basierten Bioproduktion. Das Ausgangsmaterial  $\text{CO}_2$  kann aus Abgasen verschiedener emissionsintensiver Industrien wie Stahl- und Kraftwerken sowie aus anaeroben Vergärungsanlagen gewonnen werden. In Kombination mit nachhaltig erzeugtem Strom kann so eine nachhaltige Bioproduktion entwickelt werden.

Die Terpenoide (oder Isoprenoide) stellen die größte Klasse von Naturprodukten dar, die mehr als 40.000 verschiedene Strukturen umfassen. Die moderne industrielle Nutzung von Terpenoiden reicht von einigen hochwertigen Arzneimitteln über gängige Bestandteile von Körperpflege- und Kosmetikprodukten, preiswerten antimikrobiellen lösungsmittelartigen Inhaltsstoffen bis hin zu Biotreibstoffen. Aktuell arbeiten die Forscher am DFI an der weiteren Optimierung des Verfahrens. //

For the first time, scientists at DECHEMA Research Institute (DFI) achieved the production of terpenes as platform chemicals from  $\text{CO}_2$  and electric current by means of microbial electrosynthesis. Their study was published in January in the renowned Journal »*Angewandte Chemie International Edition*« (<https://doi.org/10.1002/anie.201711302>). In this study, the metabolism of the microorganism *Cupriavidus necator* was genetically engineered for production of the terpene humulene as an exemplary product.

So far, the biotechnological production of fuels and chemicals depends on sugar as carbon and energy source. Due to price fluctuations and the »food or fuel« discussion, the demand for alternative carbon sources for production of biochemicals is rising. In the past decade, various carbon and energy sources have been investigated as feedstock for industrial biotechnology (e.g. synthesis gas, methane, lignocelluloses). The aim of the Industrial Biotechnology Group is the development of a  $\text{CO}_2$ -based production. The substrate  $\text{CO}_2$  can be obtained from different emission-heavy industries like steel or power plants as well as anaerobic fermentation plants. In combination with electric current from regenerative sources, a sustainable bio-based production can be developed.

With more than 40,000 structures, terpenes are the largest class of natural compounds. Nowadays, the industrial use of terpenes ranges from high-quality pharmaceuticals and components of personal hygiene and cosmetic products to cheap antimicrobial organic solvents and biofuels. Currently, the scientists at DFI are working on the further optimization of terpene production. //



## JUNI – NOVEMBER 2018 WEITERBILDUNGSKURSE

*continuing education courses  
june – november 2018*

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

Fachliche Exzellenz ist Grundvoraussetzung für jeden Ingenieur und Naturwissenschaftler, der im Berufsleben dauerhaft erfolgreich sein möchte. Für Unternehmen ist die Weiterqualifizierung ihrer Mitarbeiter eine der wichtigsten Investitionen in die Zukunftsfähigkeit sowie ein entscheidendes Werkzeug der Personalentwicklung.

Mit unserem Weiterbildungsangebot tragen wir dazu bei, Kenntnislücken zu schließen, frühzeitig auf zukunftsweisende Entwicklungen aufmerksam zu machen und neue Methoden in die industrielle Praxis zu transferieren.

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

Continuing professional development for chemists and engineers from industry and universities is the core of our courses.

Professional excellence is a necessary requirement to be successful in working life. For companies ongoing qualification of their employees is one of the most important investments in sustainability and personnel development. Experts from universities and industry ensure that the content of the courses is regularly updated. Courses last several days and often include experimental modules.

Within our courses we present up-to-date theory and modern methods so that participants can apply them directly to their work.

We offer courses with thematic priorities in process engineering, electrochemistry, corrosion, bioengineering as well as cross topics.

## JUNI

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

## JULI

**4.7. – 6.7.** Design of Experiments  
in Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Qualität e.V.

**18.7. – 19.7.** Maßstabsvergrößerung katalytischer Reaktoren

## SEPTEMBER

**6.9. – 7.9.** Scale-Up  
– Maßstabsvergrößerung verfahrenstechnischer Prozesse

**17.9. – 18.9.** Explorative Datenanalyse

**24.9. – 26.9.** Prozesstechnische Auslegung von Wärmeüberträgern

**24.9. – 26.9.** Polymerisationstechnik // Hamburg

**25.9. – 26.9.** LabVIEW  
– Von den Grundlagen bis zum ersten Zustandsautomaten

**27.9. – 28.9.** Kostenschätzung – All Engineering is Cost Engineering!

## OKTOBER

**23.10. – 24.10.** Elektroorganische Synthese

**29.10. – 31.10.** Korrosion – Grundlagen und Untersuchungsmethoden  
*Anwendungsnahe Experimentalkurs*

**30.10.** Forschungs- und Entwicklungsverträge

## NOVEMBER

**7.11.** Druckentlastung und Rückhaltung  
von Flüssigkeiten und Dämpfen  
*Anerkannt als Weiterbildungskurs für Immissionsschutz-  
und Störfallbeauftragte im Sinne der 5. BImSchV*

**13.11. – 14.11.** Störungsbedingte Stoff- und Energiefreisetzungen  
*Anerkannt als Weiterbildungskurs für Störfallbeauftragte  
im Sinne der 5. BImSchV*

**15.11.** Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen  
*mit Experimentalvorträgen*

**15.11.** Technisches Email im Anlagenbau

**21.11. – 23.11.** Verfahrenstechnik kompakt

**22.11. – 23.11.** Misch- und Rührtechnik in Theorie und Praxis

**28.11. – 29.11.** Grundlagen und rechtliche Anforderungen  
des Explosionsschutzes  
*»Neue« ATEX-Richtlinie 2014/34/EU*

Die Weiterbildungskurse werden vom DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) 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.

Continuing education courses are offered by DECHEMA Research Institute (DFI) in cooperation with DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (Society for Chemical Engineering and Biotechnology).

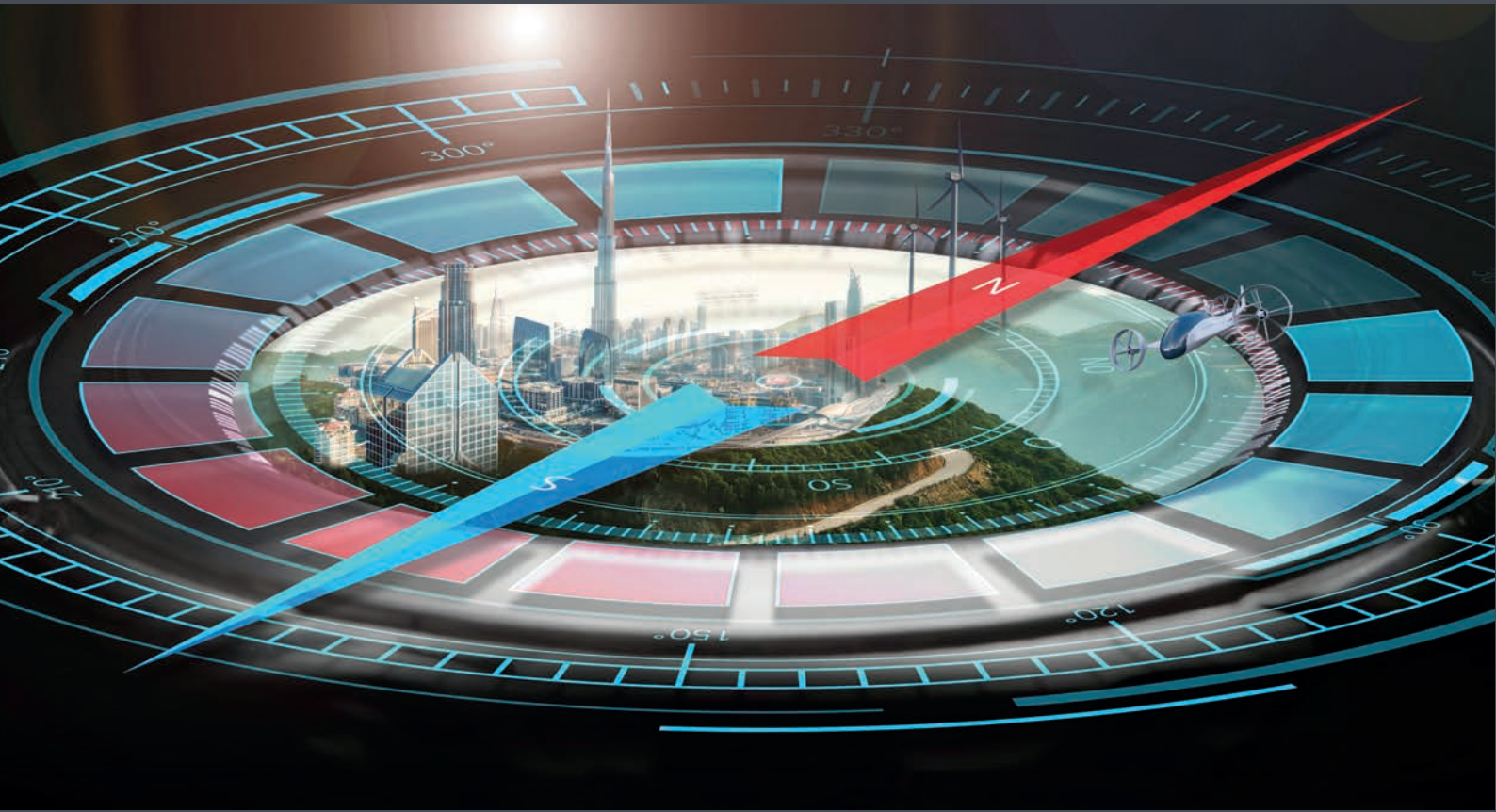
Unless otherwise stated, the events will take place at DECHEMA in Frankfurt am Main, Germany.

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

Nicola Grub  
+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)



## Neuer Markenauftritt für die Zuse-Gemeinschaft

Die Zuse-Gemeinschaft, der Verband der wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen in Deutschland, dem auch das DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) angehört, hat einen neuen Markenauftritt. Um den Markenkern der Zuse-Gemeinschaft genau bestimmen zu können, wurden neben den Mitgliedern auch wichtige externe Meinungsmultiplikatoren aus der Wirtschaft und der Politik befragt. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: Acht prägnante Key Visuals, kreiert von der Reutlinger Markenagentur Apollo 11, umfasst der Markenauftritt. Das zentrale Motiv der Bilder ist ein Kompass, kombiniert mit variierenden Slogans wie »WISSENSCHAFFT FORTSCHRITT« oder »WISSENSCHAFFT GEWINNE«. Das neue moderne Gesamtbild spiegelt die Identität des jungen Verbandes perfekt wider und zeigt ihn als starken und praxisnahen Forschungspartner für den Mittelstand und die Industrie.

## *New brand identity for Zuse-Gemeinschaft*

*Zuse-Gemeinschaft, the association of close-to-market research institutions in Germany, has a renewed brand appearance. In order to represent exactly the core of the brand, surveys have been taken among members of the association as well as external decision makers and influencers from industry and politics. Following this, a workshop was held with representatives of the member institutes, among them the DECHEMA Research Institute (DFI).*

*Eight impressive key visuals have been created by Apollo 11, a Reutlingen-based marketing agency. The central visual element of the new brand is a compass, combined with varying slogans such as »WISSENSCHAFFT FORTSCHRITT« or »WISSENSCHAFFT GEWINNE« that play on the German words for Science (»Wissenschaft«) as well as Creation/Creativity (»Schaffen«). The new, modernized, appearance reflects the identity of a young association in a perfect way and presents it as a strong and relevant research partner for the German Mittelstand and industry.*



*Im Januar 2018 hat Markus Stöckl aus der Arbeitsgruppe Elektrochemie seine Doktorarbeit an der Universität Duisburg-Essen mit Auszeichnung verteidigt. Markus Stöckl hat sich in seiner Arbeit mit der Interaktion zwischen elektroaktiven Mikroorganismen und Elektrodenoberflächen beschäftigt und wird auch weiterhin an diesem interdisziplinären Thema am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) forschen.*

*In January 2018 Markus Stöckl from the Electrochemistry Group defended his doctoral thesis at the University of Duisburg-Essen with distinction. Markus Stöckl's work focuses on the interaction between electroactive microorganisms and electrode surfaces and he will continue his research on this interdisciplinary topic at the DECHEMA Research Institute (DFI).*

## Treffen der Plattforminitiative »Mikrobielle Bioelektrotechnologie« am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI)

Ende letzten Jahres haben sich erstmals mehr als 30 Akteure der mikrobiellen Bioelektrotechnologie in Frankfurt getroffen um die Fortschritte in diesem jungen Forschungsbereich zu diskutieren. Ziel der Plattforminitiative ist es, die unterschiedlichen Akteure im Bereich der mikrobiellen Bioelektrotechnologie sowie angrenzender Bereiche zu vernetzen. Neben »klassischen« Vorträgen und Poster-Präsentationen hat sich dabei als neues Veranstaltungsformat eine Session »Ask the community« bewährt. Hier wurden in einer offenen Diskussionskultur aktuelle Fragen aus der Praxis besprochen und gemeinsam innovative Lösungsansätze erarbeitet.

Die Erforschung von »stromleitenden« Mikroorganismen und der Entwicklung von darauf basierenden nachhaltigen Technologien können zu neuen Bioproduktionsrouten führen. Potentielle Anwendungsfelder reichen von der Gewinnung elektrischer Energie aus Abwasser bis hin zur Synthese von Feinchemikalien. Hier stellt der interdisziplinäre Charakter des DFI eine hervorragende und nahezu einmalige Basis für die Erforschung dieses zukunftsweisenden Gebietes dar. Am DFI werden daher die elektrochemischen, verfahrenstechnischen und molekularbiologischen Expertisen eingesetzt, um aktuell in vier Projekten mit einem Fördervolumen von mehr als 2,5 Millionen Euro zukünftige ressourcenschonende Prozesse zu entwickeln.

## Meeting of the platform initiative »Microbial Bioelectrotechnology« at the DECHEMA Research Institute (DFI)

At the end of last year more than 30 microbial bioelectrotechnology actors met for the first time in Frankfurt to discuss the progress in this new research field. The aim of the platform initiative is to connect the various parties in the field of microbial bioelectrotechnology and related areas. Here, an additional session called »Ask the community« has proved its worth as new format next to typical talks and poster presentations. It allowed to review current issues from practice in an open discussion culture and to develop common innovative solutions.

The exploration of »conductive« microorganisms and the development of sustainable technologies based on them can lead to new production routes. Potential fields of application range from the generation of electrical power from waste water to the synthesis of fine chemicals. Here, the interdisciplinary character of the DFI provides an excellent and almost unique basis for the research in this future-oriented and trendsetting area. Electrochemical, process engineering and molecular biology expertise are combined to develop future resource-efficient processes in currently four projects with a total funding of more than 2.5 million euro.

# ZAHLEN & DATEN

facts & figures

# 2017

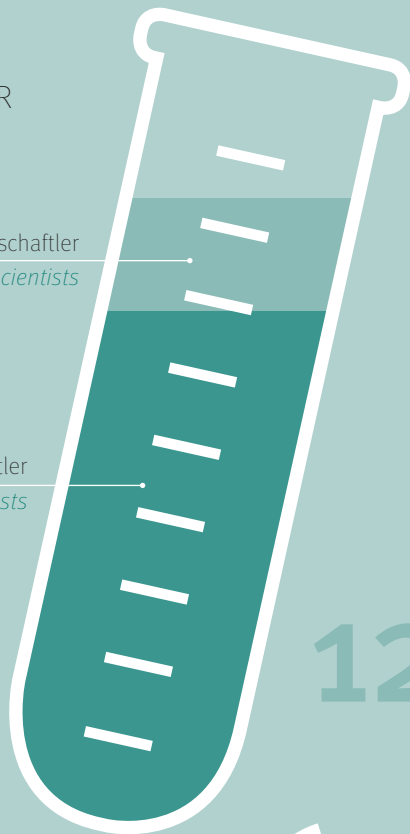
## WISSENSCHAFTLICHE TÄTIGKEIT scientific activity

# 83

MITARBEITER  
employees

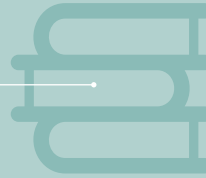
14 Nicht-Wissenschaftler  
non-scientists

69 Wissenschaftler  
scientists



Wissenschaftliche Publikationen  
scientific publications

# 51



41 Ausgewählte Vorträge  
(call for papers)  
selected talks  
(call for papers)

20 Eingeladene Vorträge  
invited talks

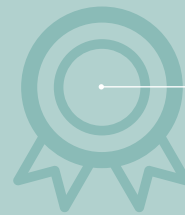


61 Tagungsvorträge  
conference talks



12 Vorlesungen  
lectures

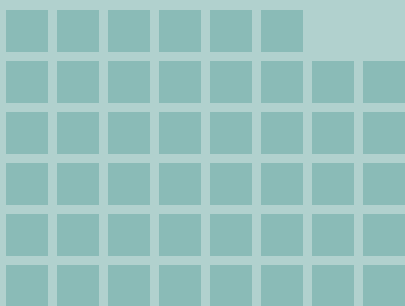
5 Universitäten  
universities



3 Patentanmeldungen  
patent applications

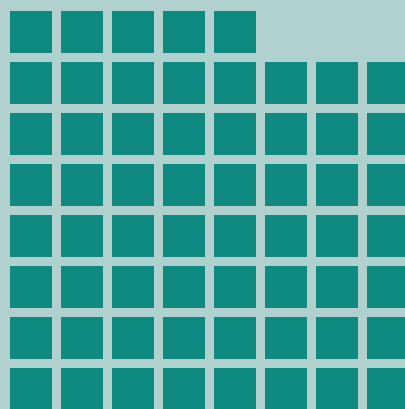
# 3

# 46



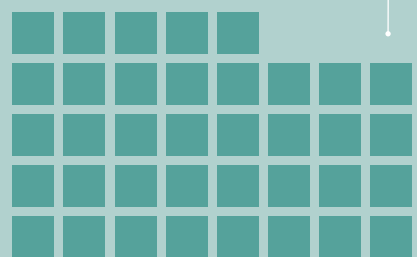
Projekte Öffentliche Drittmittelforschung  
(mehrjährig)  
public third-party funded research projects  
(multi-year)

# 61



Projekte Industrielle Auftragsforschung  
industrial contract research projects

# 37



Weiterbildungskurse  
continuing education courses

716 Teilnehmer  
participants

Mit dem **DFI-Tag – lab<sub>2</sub>industry** führen wir die Tradition unseres bisherigen Stiftungstages fort und präsentieren unsere Forschung – von den Grundlagen bis zur industriellen Anwendung – einer breiten Öffentlichkeit. Die diesjährigen Schwerpunktthemen werden wieder in drei parallelen Vortragsessions vorgestellt, in denen auch Beiträge unserer Forschungspartner eingebunden sind. Abgerundet wird das Angebot mit der Posterschau aller öffentlich geförderten Projekte. Wir freuen uns auf spannende Wissenschaft und anregende Diskussionen.

### **C1 Biokonversion**

In einer nachhaltigen Gesellschaft ist es notwendig, alternative Rohstoffquellen für die Biotechnologie zu erschließen. Einen neuen bioökonomischen Ansatz stellt dabei die Nutzung von C1-Verbindungen (CO<sub>2</sub>, CO, Formiat, Methan und Methanol) zur Synthese von Basischemikalien und Biokraftstoffen dar.

### **Batterien & Brennstoffzellen**

In Kombination mit erneuerbaren Energiequellen und Elektrolyseuren sind Batterien und Brennstoffzellen wichtige Bausteine zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende und Bekämpfung des Klimawandels.

### **Korrosionsschutz für den Leichtbau**

Der Leichtbau als Schlüsseltechnologie in Automobil- oder Luftfahrtindustrie benötigt neben neuen Fügetechnologien insbesondere angepasste Korrosions- bzw. Oxidationsschutzschicht-Konzepte.

### **Registrierung**

Um Online-Registrierung wird gebeten unter [www.dechema-dfi.de/DFI\\_Tag\\_lab2industry\\_Anmeldung](http://www.dechema-dfi.de/DFI_Tag_lab2industry_Anmeldung)



#### **KONTAKT**

DECHEMA-Forschungsinstitut  
Vanessa Haumann  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main  
069 7564 337  
dfi@dechema.de

**SAVE  
THE  
DATE**

**DFI-Tag am 5. Dezember 2018**

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

DECHEMA-Haus · Frankfurt am Main

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

