



DECHEMA
FORSCHUNGSINSTITUT

N° 1 · 2019

lab₂industry

Chemische Technik // Biotechnologie // Werkstoffe

DECHEMA-Forschungsinstitut
Stiftung bürgerlichen Rechts

Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main
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
Constanze Klaus
Diana Tabor
Prof. Dr. Jens Schrader (V.i.S.d.P.)

Nachdruck – auch auszugsweise – nur
mit Genehmigung des Herausgebers.

DATENSCHUTZHINWEIS

Alle Details zur Verarbeitung Ihrer Daten können Sie den Datenschutzhinweisen des DECHEMA-Forschungsinstitutes entnehmen (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.



PROF. DR.
JENS SCHRADER
Vorstand des DECHEMA-
Forschungsinstitutes

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

der Schutz unserer Umwelt und ihr Erhalt für nachfolgende Generationen ist eine zentrale Herausforderung der modernen Industriegesellschaft. Ein verantwortungsvoller Umgang mit den uns zur Verfügung stehenden Ressourcen ist das Credo, das es zu befolgen gilt. Lösungsansätze sind nötig, um die Energiewende weiter voranzubringen und um dem Klimawandel und der Ressourcenknappheit effizient zu begegnen. Es ist ein Anliegen des DFI zur Lösung aktueller Umweltprobleme beizutragen. Daher forschen wir – gemeinnützig und unabhängig – an zukunftsweisenden, umweltentlastenden Technologien. Wir nutzen dabei unser Know-how in seiner gesamten Breite: von der Chemie über die Biotechnologie bis hin zu den Materialwissenschaften.

Unsere Biotechnologen lernen von der Natur und übersetzen molekulare Mechanismen in »grüne« Syntheserouten für die chemische Industrie. Den herrlichen Duft eines Kiefernwaldes kann sich jeder vorstellen. Das enorme Duftpotenzial der Mikroben des Waldbodens kennt dagegen kaum jemand. Dank moderner Methoden der Biotechnologie finden wir in Bakterien, Pilzen und Pflanzen neue Enzyme und optimieren ihre Syntheseleistungen für Anwendungen, die weit über die Riechstoffindustrie hinaus reichen können. Nach dem Vorbild der »Natural Deep Eutectic Solvents« in Pflanzen können wir wiederum umweltfreundliche Reaktionsmedien für enzymatische Synthesen designen – und kommen dabei ganz ohne konventionelle organische Lösungsmittel aus.

Bei den Materialien entwickeln wir neue Konzepte für den Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe. Wir fokussieren uns dabei besonders auf den Leichtbau, der für eine ressourcenschonende und klimafreundliche Mobilität – ob im Auto oder Flugzeug – immer wichtiger wird. Mit der Energiewende nimmt auch die Zahl von Energietrassen und mit ihnen die Korrosionsproblematik erdverlegter Rohrleitungen zu. Daher versuchen wir, über die Aufklärung der grundlegenden Korrosionsphänomene neue Schutzkonzepte zu entwickeln, um eine bessere Ressourcennutzung zu ermöglichen.

In der Chemie verbessern wir die Rezepturen für Katalysatoren in Batterien und Brennstoffzellen, um diese noch energieeffizienter und stabiler für ihren Einsatz als Energiewandler und -speicher zu machen. Auch widmen wir uns der lebenswichtigen Ressource »Wasser«: Mit maßgeschneiderten elektrochemischen Verfahren können wir Prozesswässer effizient von verunreinigenden Spurenstoffen befreien und Wertstoffe zurückgewinnen. Auf diese Weise gereinigte Wässer können außerdem in den Prozess rückgeführt werden. Dadurch leisten wir gleich einen mehrfachen Beitrag zum Umweltschutz.

*Wie Sie sehen, stehen die Beiträge der dritten Ausgabe unseres Magazins **lab₂industry** ganz im Zeichen umweltfreundlicher Lösungsansätze. Ich bin zuversichtlich, dass die Arbeiten aus unseren Laboren Ihr Interesse finden werden. Für Fragen und Anregungen stehen meine Kolleginnen und Kollegen und ich Ihnen wie immer sehr gerne zur Verfügung.*

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen der neuen Ausgabe!

Ihr

JENS SCHRADER



UMSCHLAG Kiefernadeln.

Sie enthalten wie viele andere pflanzliche Quellen wertvolle ätherische Öle. Die natürlichen Synthesewege und zellulären Mechanismen in Pflanzen können als Vorbild für moderne biotechnologische Verfahren dienen. Am DFI werden auf diese Weise mikrobielle und enzymatische Synthesen von Aroma- und Riechstoffen sowie neuartigen Naturstoffen entwickelt (siehe Beiträge auf den Seiten 1, 4/5, 6/7, 8/9 und 26).

BILDNACHWEIS

Adobe.Stock: Marlene (Titelbild), Madamlead (S.4/5), Nordroden (S.5), Africa Studio (S.8), Kitsana (S.16/17), photosoup (S. 28). iStockphoto: o6photo (S.22/23), sanjeri (S.24/25). Dreamstime: Tobias Arhelger (S.20/21). Weitere: Kschowak et al. doi.org/10.1371/journal.pone.0196082 (S. 6/7), Leica Microsystems CMS GmbH (S.10/11), Nadine van der Schoot/ZBT GmbH (S. 13), Zuse Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V. (S. 27), Bayerischer Rundfunk (S. 27). DECHEMA -Forschungsinstitut: Markus Buchhaupt (S. 6/7), Franziska Enzmann (S. 8/14/ 15), Magdalena Pätzold (S. 9), Markus Stöckl (S. 11/17), Sakthivel Mariappan (S. 12/13), Lukas Mengis (S. 18/19), Sigrid Benfer (S. 20/21), Xueqing Wu (S. 26) sowie alle anderen.

GESTALTUNG

*Lindner & Steffen GmbH, Nastätten
www.lindner-steffen.de*

1

EDITORIAL

PROF. DR. JENS SCHRADER

Gesellschaftlich //

4

NATÜRLICHE AROMEN
UND DÜFTE **DANK
BIOTECHNOLOGIE**

PROF. DR. JENS SCHRADER

Grundlegend //

6

ABSEITS DER REGEL –
**TERPENE MIT UNGEWÖHNLICHEN
KOHLENSTOFFGERÜSTEN**

DR. MARKUS BUCHHAUPT

Technologisch //

8

2 IN 1
»DEEP EUTECTIC SOLVENTS«
ALS NEUES EFFIZIENTES
LÖSUNGSMITTEL IN DER BIOKATALYSE

DR.-ING. DIRK HOLTSMANN

10

BLICK IN DIE TIEFE
3D-BILDGEBUNG MITTELS KONFOKALER
LASER-SCANNING MIKROSKOPIE

DR. MARKUS STÖCKL
DR.-ING. DIRK HOLTSMANN

12

MESOPORÖSE KOHLENSTOFFE
ALS KATALYSATORTRÄGER FÜR DIE
PEM-BRENNSTOFFZELLE

DR.-ING. JEAN-FRANÇOIS DRILLET

Angewandt //

14

DFI-TAG
LAB₂INDUSTRY

16

RE-SALT
WASSER SPAREN UND
UMWELT SCHONEN
DR. MARKUS STÖCKL
DIPL.-ING. (FH) STEFANIE HILD

18

HOCHTEMPERATUR-
VERSCHLEISSCHUTZSCHICHTEN
FÜR TiAl-LEGIERUNGEN
PD DR.-ING. MATHIAS GALETZ
M.SC. LUKAS MENGIS

Spezialisiert //

20

VERRÜHRTE METALLE –
EMPFINDLICH FÜR KORROSION?
DR. SIGRID BENFER

22

ROHRLEITUNGEN
UNTER HOCHSPANNUNG
PD DR.-ING. WOLFRAM FÜRBEH

Bildend //

24

EXZELLENT UND PRAXISNAH
WEITERBILDUNGSKURSE

26

INTERN

NATÜRLICHE AROMEN UND DÜFTE **DANK** **BIOTECHNOLOGIE**

Prof. Dr. Jens Schrader
> jens.schrader@dechema.de

Wenn es aus dem Fermenter angenehm nach Rose, Veilchen oder Sandelholz riecht, dann waren die Biotechnologen des DFI wieder erfolgreich am Werk. Ihr Ziel: natürliche Stoffwechselfvorgänge aus Pflanzen mit Hilfe von Enzymen und maßgeschneiderten Mikroben nachzustellen und dabei die Synthese von Aroma- und Duftstoffen noch weiter zu optimieren.



Die Gesellschaft fordert nicht nur bei Lebensmitteln, sondern auch bei anderen Konsumgütern, immer stärker natürliche Produkte und umweltfreundliche Verfahren ein. In Zeiten sich verknappender fossiler Rohstoffe und zunehmendem Raubbaus an der Natur sind

biotechnologische Prozesse auf Basis nachwachsender Rohstoffe mehr denn je gefragt und leisten einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Industriegesellschaft.

Am DFI forschen die Wissenschaftler seit nunmehr zwei Jahrzehnten an der biotechnologischen Gewinnung der unterschiedlichsten Aroma- und Duftstoffe. Die vielen bisherigen Projekte am DFI zu diesem Thema verbindet eine zentrale Frage: wie gelingt es, die Substrate hocheffizient in die gewünschten Produkte zu überführen? Denn hohe Ausbeuten und Produktivitäten sind für eine spätere Übertragung in die Anwendung unabdingbare Voraussetzung. Um diese Frage zu beantworten, müssen die Wissenschaftler die Brücke von der Grundlagen- bis zur praxisnahen Forschung schlagen.

Über die Jahre hat das DFI so eine ganze »Toolbox« an spezifischen Methoden für die Biotechnologie der Aroma- und Duftstoffe aufgebaut, die in öffentlich geförderten und Industrie-finanzierten Vorhaben eingesetzt werden. Hierzu zählen neben den notwendigen analytischen Methoden verschiedene bioverfahrenstechnische Maßnahmen. Beispiele sind Verfahren zur in situ Produktabtrennung, wie Extraktion, Adsorption und Membran-separation. Zur Optimierung der Prozessführung enzymatischer Reaktionen erforschen die Biotechnologen derzeit am Beispiel der Synthese von Estern des Minzaromas Menthol den Einsatz lösungsmittelfreier Medien (siehe »2 in 1 – »Deep Eutectic Solvents« als neues effizientes Lösungsmittel in der Biokatalyse«, S. 8/9).

Darüber hinaus wurden mikro- und molekularbiologische Werkzeuge etabliert, wie alternative mikrobielle Wirtsorganismen und effiziente Selektions- und Screeningverfahren zur Identifikation von Hochleistungsstämmen. Das DFI setzt dabei auch auf unkonventionelle Mikroben, die hinsichtlich der Zielstellung über besondere Eigenschaften verfügen. So zeigen Pseudomonaden in Gegenwart höherer Konzentrationen von Aromastoffen ein deutlich besseres Wachstum als die traditionell verwendeten Mikroben Bäckerhefe und *Escherichia coli* und stellen eine gute Basis für die gewünschten Synthesen dar (siehe »Mikroben und Lösungsmittel«, **lab₂industry** 02/2018, S. 16/17). Mit genetisch veränderten »Knallgasbakterien« wiederum können auch unkonventionelle Substrate wie Kohlendioxid und Wasserstoff für die biotechnologische Synthese von Aroma- und Duftstoffen erschlossen werden (siehe »CO₂ zu Terpenen«, **lab₂industry** 02/2018, S. 22/23).

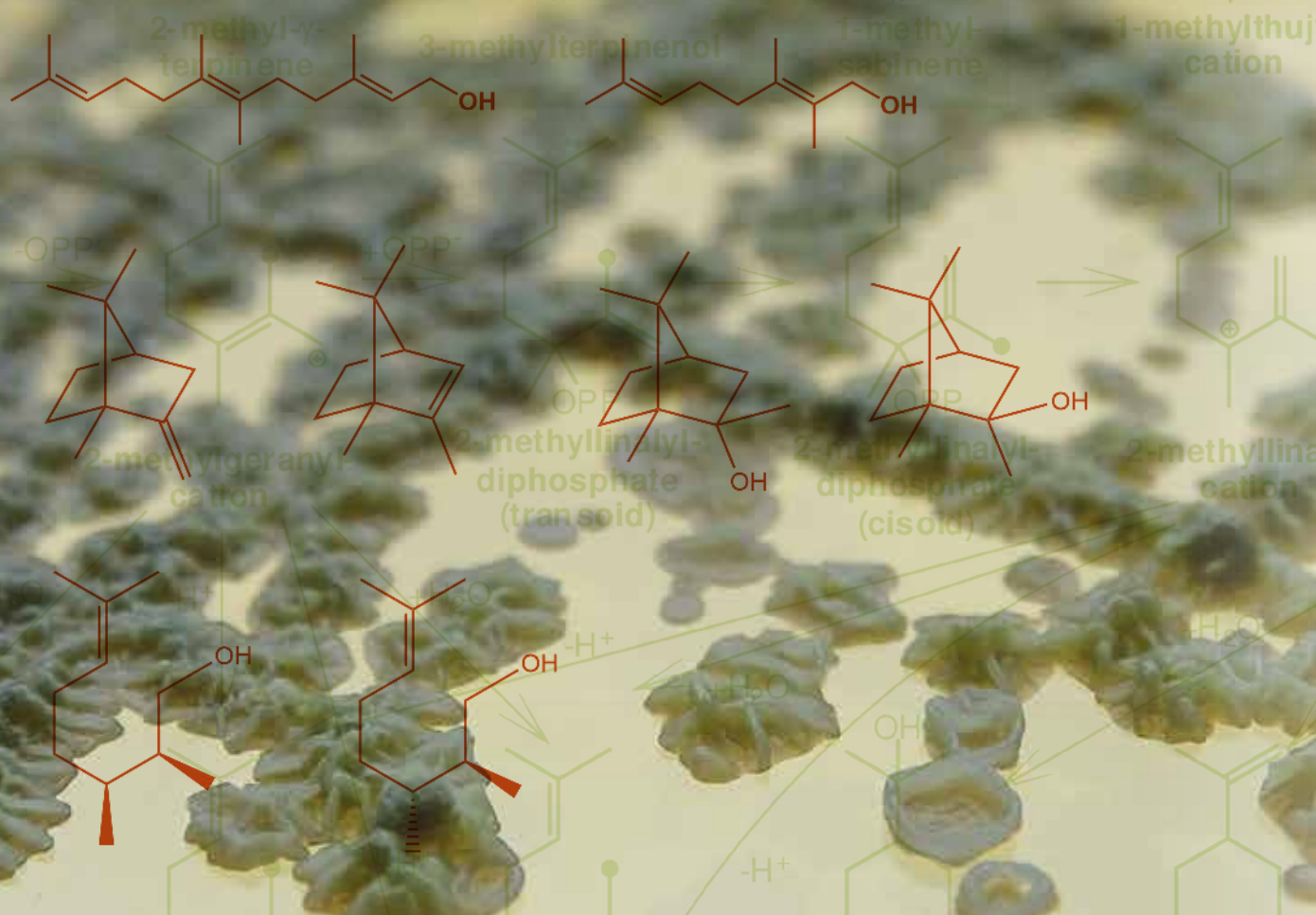
Ausgehend von ihren jüngsten Entdeckungen neuer Enzyme können die DFI-Biotechnologen nun auch völlig neue Aroma- und Duftstoffe der Stoffklasse der Terpene synthetisieren (siehe »Abseits der Regel – Terpene mit ungewöhnlichen Kohlenstoffgerüsten«, S. 6/7).

Das DFI nutzt das über die Jahre aufgebaute Know-how auch, um ganz neue Wertschöpfungsketten ausgehend von Reststoffen der heimischen Landwirtschaft aufzubauen. Dieses Ziel verfolgen die Wissenschaftler im Rahmen eines kürzlich gestarteten LOEWE-Schwerpunktes des Landes Hessen, um mit Hilfe der modernen Biotechnologie aus Fraktionen des Obst- und Weinbaus interessante Aromastoffe und gesundheitsfördernde Substanzen zu erzeugen (siehe »AROMaplus« **lab₂industry** 01/2018, S. 6/7).

Die stetig zunehmende Bedeutung nachhaltig erzeugter biotechnologischer Produkte wurde kürzlich auch durch die große Resonanz der BIOFLAVOUR 2018 deutlich (siehe »intern«, S. 26).||

ABSEITS DER REGEL – TERPENE MIT UNGEWÖHNLICHEN KOHLENSTOFFGERÜSTEN

Dr. Markus Buchhaupt
> markus.buchhaupt@dechema.de



Die Stoffgruppe der Terpene, die auch oft als Isoprenoide bezeichnet werden, umfasst mehr als 70.000 bekannte Substanzen. Viele davon und vor allem deren Gerüche oder Geschmäcker kennen wir aus der Natur, wie das Citrus-Duft vermittelnde Limonen, das Pinen mit dem typischen Nadelwald-Geruch, oder auch Nootkaton als den charakteristischen Aromastoff der Grapefruit. Neben Polyisopren, dem Naturkautschuk, finden sich mit z. B. dem Anti-Krebsmittel Taxol und dem gegen Malaria wirkenden Artemisinin auch viele andere für Menschen unentbehrliche Moleküle unter den Terpenen.

2-methylterpinene-4-yl-cation

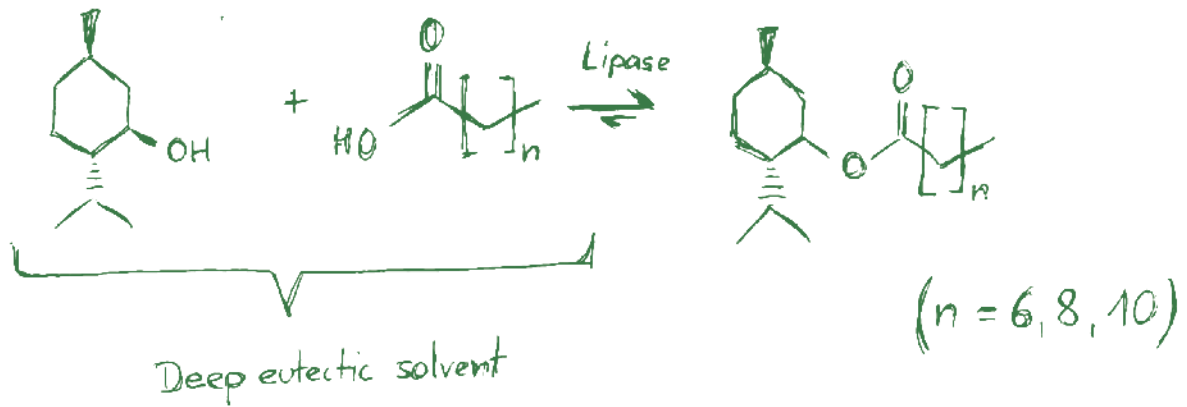
Obwohl diese Substanzgruppe Forscher seit jeher durch ihre Substanzvielfalt begeistert, werden alle ihre Vertreter in der Natur aus nur zwei zellulären Diphosphat-haltigen Grundbausteinen mit jeweils 5 Kohlenstoff-Atomen aufgebaut: IPP und DMAPP. Diese können von bestimmten Enzymen zu längeren Ketten verknüpft und letztlich zu sehr unterschiedlichen Strukturen umgewandelt werden, deren Kohlenstoff-Anzahl aber grundsätzlich immer ein Vielfaches von 5 ist. Diese Gesetzmäßigkeit wurde von dem deutschen Chemie-Nobelpreisträger Otto Wallach schon vor mehr als 120 Jahren erkannt und 1953 von dem kroatisch-schweizerischen Chemie-Nobelpreisträger Leopold Ružička in der sogenannten (biogenetischen) Isopren-Regel festgehalten. Die Regel beinhaltet zwar auch die Möglichkeit weiterer Veränderungen der Kohlenstoffgerüste aus 5, 10, 15, 20 oder generell $n \times 5$ C-Atomen durch nachträgliche Acetylierungen oder andere enzymatische Modifikationen, begründete aber auch das Dogma des zellulären Repertoires von Isoprenoid-Diphosphat-Grundbausteinen mit ausschließlich 5, 10, 15 oder 20 C-Atomen.

Dieses Lehrbuchwissen geriet ins Wanken, nachdem vor etwa 10 Jahren der Biosyntheseweg von 2-Methylisoborneol aufgeklärt wurde (Dickschat et al, 2007; Komatsu et al, 2008; Wang und Cane, 2008). Dabei zeigte sich, dass in Zellen bestimmter Mikroorganismen ein weiterer Diphosphat-Baustein existiert, der überraschenderweise 11 C-Atome aufweist. Er entsteht aus dem 10 C-Atome enthaltenden GPP durch eine Methylierung am C2, die durch das Enzym GPP-Methyltransferase katalysiert wird. Das so entstandene 2-Methyl-GPP bildet den Ausgangspunkt für die Bildung des unangenehm riechenden 2-Methylisoborneol. Aus dem Substrat können darüber hinaus durch enzymatisch katalysierte Reaktionen aber auch eine Vielzahl weiterer kaum oder gar nicht untersuchter C₁₁-Terpene hergestellt werden. In der Natur kommen diese von Bakterien produzierten Substanzen, anders als die Terpene in Pflanzenölen, nur in winzigen Mengen vor und waren deshalb größtenteils nicht bekannt. Das DFI hat zusammen mit Chemikern der Universität Bonn kürzlich die biotechnologische Synthese von Dutzenden zuvor unbekannter C₁₁-Substanzen demonstriert, die die Erweiterung des denkbaren Strukturraums von Terpenen bereits eindrucksvoll demonstrieren (Kschowak et al, 2018).

Darüber hinaus haben die Wissenschaftler am DFI inzwischen weitere enzymatisch katalysierte Methylierungsreaktionen für Isoprenoid-Diphosphate entdeckt und somit das Repertoire an Terpen-Bausteinen deutlich erweitern können. Wurden diese neuartigen Bausteine mit Terpen-Biosynthesewegen kombiniert, die eigentlich die »normalen« C₅-, C₁₀-, C₁₅- und C₂₀ Isoprenoid-Diphosphate verwenden, wurden die ungewöhnlichen Substrate überraschenderweise meist in Produkte umgesetzt. Bei dem Großteil der entstandenen Verbindungen handelt es sich um bisher nicht bekannte Substanzen, da sie entweder nur in sehr geringen Mengen oder gar nicht in der Natur vorkommen. Gefördert wurden diese Arbeiten bisher vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 22008713). Das DFI wird die weitere Erforschung der jetzt entdeckten Möglichkeiten für die Synthese von bisher biotechnologisch nicht zugänglichen Substanzen mit Hochschul- und Industriepartnern vorantreiben. Die naheliegendste Möglichkeit zur Anwendung der Technologie sehen die Wissenschaftler dabei in der Synthese von methylierten Derivaten bekannter Pharma- oder Riechstoffe, um auf diese Weise veränderte Bioaktivitäten oder Geruchseigenschaften zu kreieren. ||



O. Wallach Zur Kenntniss der Terpene und der ätherischen Öle; Fünfte Abhandlung. *Justus Liebigs Ann Chem.* 1887; 239: 1-54 // L. Ružička The isoprene rule and the biogenesis of terpenic compounds. *Experientia.* 1953; 9: 357-367 // J.S. Dickschat, T. Nawrath, V. Thiel, B. Kunze, R. Mueller, S. Schulz Biosynthesis of the off-flavor 2-methylisoborneol by the myxobacterium *Nannocystis exedens*. *Angew Chem Int Ed.* 2007; 46: 8287-8290 // M. Komatsu, M. Tsuda, S. Omura, H. Oikawa, H. Ikeda Identification and functional analysis of genes controlling biosynthesis of 2-methylisoborneol. *Proc Natl Acad Sci.* 2008; 105: 7422-7427 // C.-M. Wang, D. E. Cane Biochemistry and molecular genetics of the biosynthesis of the earthy odorant methylisoborneol in *Streptomyces coelicolor*. *J Am Chem Soc.* 2008; 130: 8908-8909 // M. J. Kschowak, H. Wortmann, J. S. Dickschat, J. Schrader, M. Buchhaupt Heterologous expression of 2-methylisoborneol / 2 methylenebornane biosynthesis genes in *Escherichia coli* yields novel C₁₁-terpenes. 2018; *PLoS ONE* 13(4): e0196082. doi.org/10.1371/journal.pone.0196082



2 IN 1

»DEEP EUTECTIC SOLVENTS«
 ALS NEUES EFFIZIENTES LÖSUNGSMITTEL
 IN DER BIODKATALYSE

Dr.-Ing. Dirk Holtmann
 > dirk.holtmann@dechema.de



WASSER



LINKS UND MITTE *Eingesetzte Rohstoffe*
RECHTS *Aus der Mischung der Substanzen entstehendes DES*

Wässrige Systeme sind die am häufigsten verwendeten Lösungsmittel in der Biokatalyse. Ein großer Nachteil ist hierbei die hohe Polarität des Wassers, welche in Kombination mit den hydrophoben Eigenschaften vieler Ausgangsstoffe zu einer geringen Substratlöslichkeit in wasserbasierten Reaktionsmedien führt. Daher werden vermehrt sogenannte nicht-konventionelle Reaktionsmedien wie organische Lösungsmittel, ionische Flüssigkeiten oder überkritische Fluide als Reaktionsmedien in Biotransformationen untersucht. Nachdem sich die Forschung Anfang der 2000er Jahre sehr stark auf ionische Flüssigkeiten konzentriert hatte, rücken aktuell verstärkt »Deep eutectic solvents« als vielversprechende alternative Lösungsmittelsysteme in den Blickpunkt. Deep Eutectic Solvents (DES, auch NADES natural deep eutectic solvents, deutsch: niedrig schmelzende eutektische Lösungsmittel) sind eine neue Klasse von Lösungsmitteln, die durch die Vermischung zweier Feststoffe entstehen. Durch die Wechselwirkungen der beiden Ausgangsstoffe auf molekularer Ebene (Wasserstoffbrückenbindung) wird eine Schmelzpunktniedrigung erzielt. Es entsteht durch das Vermischen aus den Feststoffen eine Flüssigkeit. Gegenüber anderen nicht-konventionellen Reaktionsmedien wird für die meisten DES eine geringe Toxizität, gute Lagerbarkeit und biologische Abbaubarkeit beschrieben. Es konnte bereits in der Literatur gezeigt werden, dass viele technisch relevante Substrate in einem DES aus beispielsweise Cholinchlorid und Harnstoff gelöst werden können.

In der Arbeitsgruppe Industrielle Biotechnologie wurde nun nachgewiesen, dass es möglich ist, direkt aus den Substraten der Enzymreaktion ein DES zu bilden (Hümmer et al 2018). Hier wurden auf Basis von (-)-Menthol und verschiedenen Fettsäuren DES hergestellt und die Bestandteile des Reaktionsmediums mittels einer Lipase zu den entsprechenden Mentholfettsäureestern umgesetzt. Das eingesetzte (-)-Menthol hat aufgrund eines charakteristischen Minzgeschmacks und einer erfrischenden Kühlwirkung ein breites Anwendungsspektrum in der Kosmetik-, Lebensmittel- und Tabakindustrie wie auch der Pharmazie. Der teilweise unerwünschte zu starke Geschmack bzw. die zu starke Wirkung von (-)-Menthol kann durch Veresterung mit kurzkettigen Fettsäuren gemildert und dann eine spätere gezielte Freisetzung erreicht werden. Das DES wirkt so gleichzeitig als Reaktionsmedium und Substratpool und erfüllt damit zwei Aufgaben in der Biokatalyse auf einmal. Die bisherigen Arbeiten führten zu sehr hohen Produktivitäten von über $130 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ und einer Produktkonzentration von fast 1 mol L^{-1} . Generell kann dieses Konzept zur Erzielung sehr hoher Produktkonzentrationen und hoher Produktionsraten unter lösungsmittelfreien Bedingungen in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt werden. //



M. Hümmer, S. Kara, A. Liese, I. Huth, J. Schrader, D. Holtmann *Synthesis of (-)-menthol fatty acid esters in and from (-)-menthol and fatty acids – novel concept for lipase catalyzed esterification based on eutectic solvents. 2018; doi.org/10.1016/j.jmcat.2018.08.003*

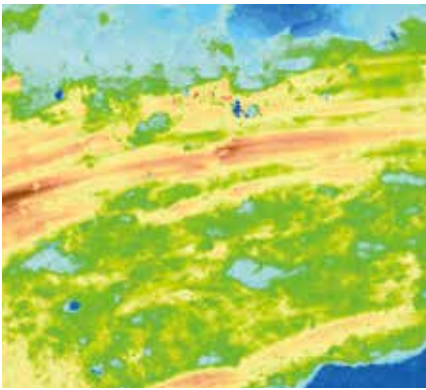
BLICK IN DIE TIEFE

3D-BILDGEBUNG MITTELS KONFOKALER LASER- SCANNING MIKROSKOPIE

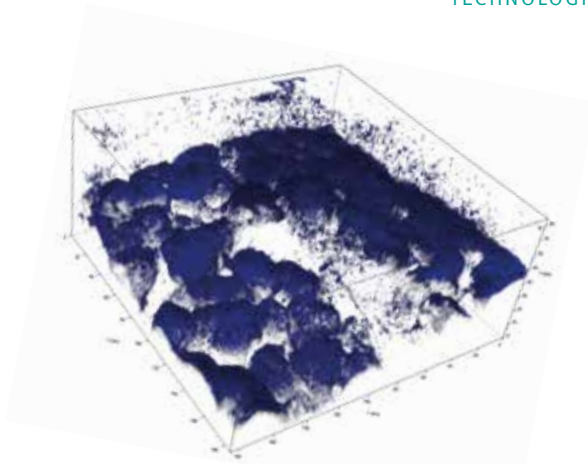
Dr. Markus Stöckl
> stoeckl@dechema.de

Dr. -Ing. Dirk Holtmann
> dirk.holtmann@dechema.de





Konfokale Falschfarbendarstellung einer Verschleißspur an einer Titanprobe



Konfokale Aufnahme eines elektroaktiven Biofilms auf einer Elektrodenoberfläche

Abläufe und Prozesse an Oberflächen kann man oft erst verstehen, wenn man genau hinsieht.

Am DFI steht dabei zum Beispiel die Bestimmung der Bildung von Biofilmen im Fokus der Forschungen von verschiedenen Arbeitsgruppen. Biofilme sind Lebensgemeinschaften von Mikroorganismen (meist Bakterien), die von einer ausgedehnten, überwiegend hydrierten Matrix aus extrazellulärem polymerem Material umgeben sind. Die Biofilme siedeln auf Oberflächen und sind sowohl in der Natur als auch in technischen Systemen weit verbreitet, z. B. auf Pflanzen, Sedimenten, Zähnen, auf Werk- und Kunststoffen, medizinischen Geräten, Implantaten und in Kläranlagen. Am DFI wird in Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen Elektrochemie und Industrielle Biotechnologie die industrielle Nutzung von katalytischen Biofilmen validiert. Darüber hinaus werden in der Arbeitsgruppe Korrosion Konzepte zur Vermeidung von unerwünschten Biofilmen untersucht. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes »Mikrobielle Elektrosynthesen 2.0« (Förderkennzeichen 031B0523) konnte nun ein konfokales Laser-Scanning Mikroskop (CLSM) am DFI installiert werden. Mit einem CLSM kann

die dreidimensionale Struktur der Biofilme abgebildet werden. So kann beispielsweise die wichtige Biofilmbildung in bioelektrochemischen Prozessen gemessen werden.

Fluoreszierende Proben werden dabei durch einen Laser mit einer bestimmten Wellenlänge angeregt und emittieren Licht einer größeren Wellenlänge, welches dann als Signal detektiert wird. Kernstücke des konfokalen Arbeitsprinzips sind ein fokussierter Laserstrahl, das sogenannte »pinhole« und ein automatisierter höhenverstellbarer Probenstisch. Mit Hilfe des automatisierten Probenstisches wird die Probe im Fokuspunkt sowohl flächig als auch in der Tiefe bewegt, woraus sich ein dreidimensionales Bild berechnen lässt.

In Abhängigkeit von der Dichte der biologischen Probe und der Eindringtiefe des Lasers können Biofilmdicken von über 50 µm abgebildet werden.

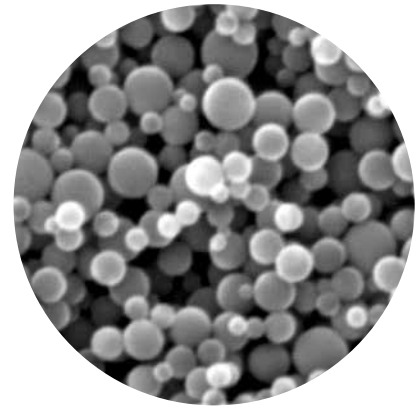
Die schnelle Aufnahmetechnik erlaubt das dreidimensionale Abbilden von Oberflächen im mm² Maßstab im Sekundenbereich. Mit entsprechenden CLSM-Aufnahmen kann das Verständnis für die Biofilmbildung verbessert werden und so eine gezielte Optimierung erreicht werden.

Zusätzlich zur standardisierten Ausstattung verfügt das CLSM über eine temperierbare Inkubationseinheit für den Probenstisch. Mit einer bereits entwickelten Messzelle (»Strom aus Abwasser und Biokraftstoffe aus CO₂«, **lab₂industry** 01/2018, S. 4/5) können beispielsweise Oberflächenwechselwirkungen von elektroaktiven Bakterien mikroskopisch und elektrochemisch simultan detektiert werden.

Neben der Bildgebung fluoreszierender biologischer Proben bietet das konfokale Laser-Scanning-Mikroskop darüber hinaus die Möglichkeit, praktisch alle Materialien unabhängig von Glanz, Transparenz oder Farbe zerstörungs- und kontaminationsfrei zu untersuchen. Mit einer Höhenauflösung von ca. 10 nm sowie einer lateralen Auflösung von ca. 150 nm können im Vergleich zu einem herkömmlichen Lichtmikroskop erheblich höhere Auflösungen erreicht werden. Mit der Anschaffung des CLSM konnte die Geräteausstattung in dem Bereich Oberflächen-Charakterisierung ausgebaut werden. Weitere Anwendungsbeispiele am DFI reichen von tribologischen Verschleißproben bis zu Kohlenstoff-basierten Katalysatoren auf Elektrodenoberflächen.//



Bilder von verschiedenen am DFI hergestellten Kohlenstoffen mit F127 Pluronic als Polymer und mit von links nach rechts α -Cyclodextrin (100nm), Resol (400nm), 2,4 Dihydroxybenzoesäure (400nm) und m-Aminophenol (4 μ m) als Kohlenstoff-Quelle



2 μ m

MESOPORÖSE KOHLENSTOFFE ALS KATALYSATORTRÄGER FÜR DIE PEM-BRENNSTOFFZELLE

Dr.-Ing. Jean-François Drillet
> drillet@dechema.de

Niedertemperatur-Brennstoffzellen (PEM-BZ) setzen mit Hilfe von Edelmetall-Katalysatoren chemische Energie in elektrischen Strom um und werden für stationäre und mobile Anwendungen weltweit intensiv entwickelt. Als Hauptherausforderungen stehen u. a. die Reduzierung der Katalysatorbeladung und Optimierung der Kohlenstoffträger-Morphologie und -Beständigkeit im Vordergrund.

Die Katalysatoren setzen die Aktivierungsenergie der jeweiligen Wasserstoffoxidation und Sauerstoffreduktion herab. Insbesondere die Spaltung des Sauerstoffmoleküls in Gasdiffusionselektroden stellt, bedingt durch eine relativ hohe Bindungsenergie und die Bildung von Adsorbaten, eine große technische Herausforderung dar. Selbst bei der Verwendung eines sehr effizienten Katalysators wie Platin sind die Energieverluste bei der elektrochemischen Sauerstoffreaktion in der H₂-PEM-Brennstoffzelle noch deutlich höher als die der Wasserstoffelektrode. Um diese Technologie bezahlbar zu machen und damit den Markteintritt zu ermöglichen, müssen daher die thermodynamisch bedingten Verluste bei gleichzeitiger Reduzierung der Katalysatormasse bzw. -kosten noch drastisch gesenkt werden.

Für automobiler Anwendungen hat sich das Department of Energy (DOE) eine Gesamtelektrodenbeladung von maximal 0,125 mgPGM¹/kW als Ziel für 2020 gesetzt.² Dies entspricht genau 10 g Platin für ein 80 kW/108 PS starken Pkw. Dieses Ziel ist dank der weltweit gebündelten Anstrengungen und Fortschritte in den letzten Jahren in greifbare Nähe gerückt. Das »Gra2Kat«-Konsortium³ beschäftigt sich unter anderem mit der Entwicklung von korrosionsbeständigen und leitfähigen Kohlenstoffen als Katalysatorträger für die H₂-PEM-Brennstoffzelle.

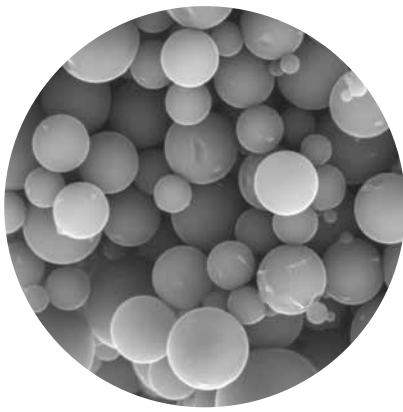
Während sich die Arbeiten an der Uni Saarland auf graphenartige Strukturen konzentrieren, werden am DFI mesoporöse Kohlenstoffe mittels soft-template Routen hergestellt und anschließend mit stabilen Pt- bzw. Pt-Legierung-Katalysatoren beladen. Die Aufgabe des ZBT in Duisburg besteht darin, die jeweiligen Diffusions- und Reaktionsschichten mit optimierten Gradienten zu gestalten und anschließend die jeweiligen Materialien bezüglich ihrer Leistung und Stabilität in der Brennstoffzelle zu charakterisieren. Die ersten am DFI hergestellten Kohlenstoffpartikel sind oben dargestellt. Als anvisierte Parameter sind eine mittlere Partikelgröße von 50-150 nm und Porengrößenverteilung von 3-10 nm zu nennen.//



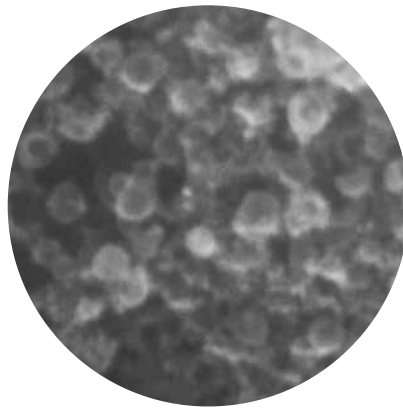
¹PGM steht für Platingruppenmetalle

²<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-polymer-electrolyte-membrane-fuel-cell-components>

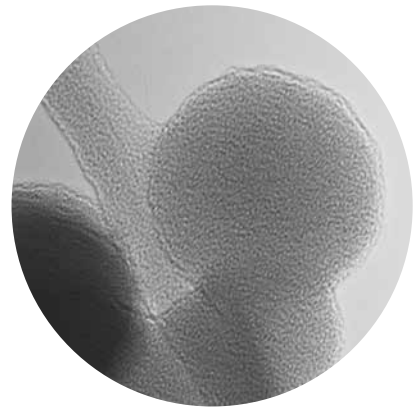
³<https://dechema.de/kwi/en/GRA2KAT.html>



5 μm



2 μm



50 nm



Beispielhaft gezeigt:
BREEZE-Brennstoffzellenstack aus der Kooperation
von ZBT, FEV, Gräbener und RWTH Aachen

STIFTUNGSTAG SEIT DEZEMBER 2018 IM NEUEN GEWAND

DFI-TAG lab₂industry

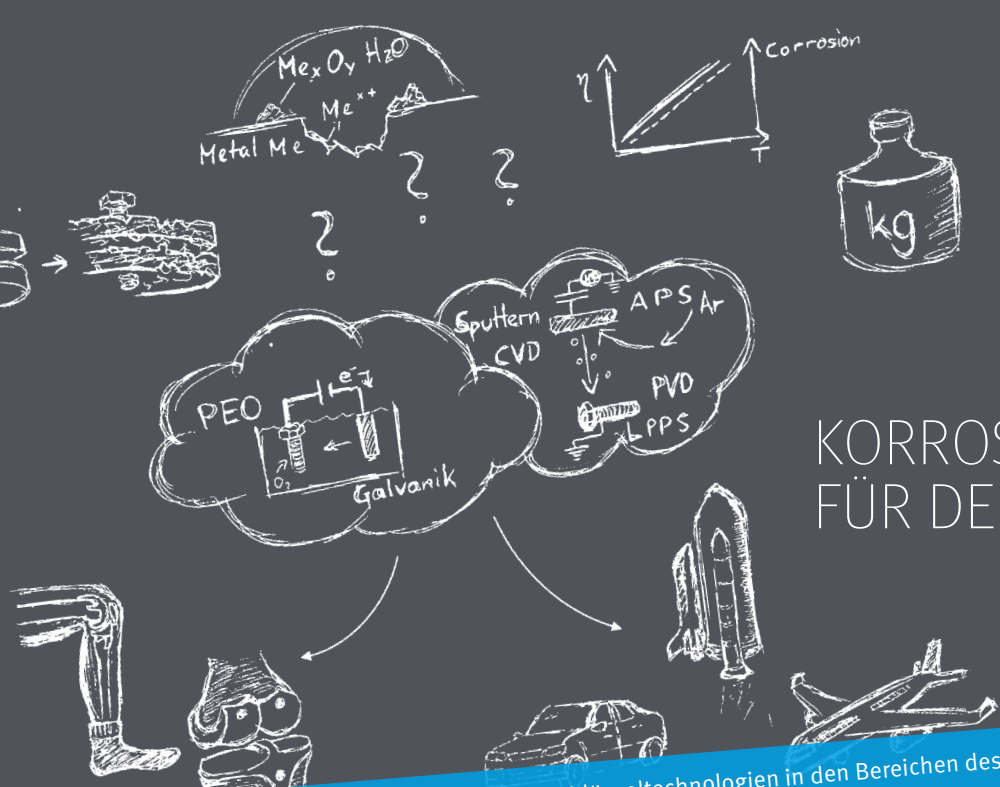
Am 5.12.2018 hat das DECHEMA-Forschungsinstitut zum ersten DFI-Tag lab₂industry eingeladen, der aus dem jährlich stattfindenden »Stiftungstag« hervorgegangen ist. Mit dem neuen Namen wird die Mission des Instituts als Brückenbildner zwischen Forschungslabor und industrieller Anwendung zum Ausdruck gebracht. Neu ist auch, dass ausgewählte Exponate des Instituts die umfangreiche Postershow ergänzen und so die Forschung noch anschaulicher machen. In Fortführung der Tradition des »Stiftungstags« liegt der Schwerpunkt des DFI-Tags „lab₂industry“ auf dem wissenschaftlichen Vortragsprogramm, bei dem in drei parallelen Sessions Mitarbeiter des DFI und externe Fachkollegen aktuelle Forschungsarbeiten und -trends vorstellen. Wie in den Jahren zuvor stand der wissenschaftliche und informelle Austausch mit Fachkollegen aus Industrie, Akademie und Förderinstitutionen im Vordergrund der Veranstaltung.

Die Themenschwerpunkte der drei parallelen Vortragssessions des DFI-Tag „lab₂industry“ reichten von zukunftsorientierten Verwertungskonzepten der »C1 Biokonversion« über relevante Ergebnisse der Forschung aus ausgewählten Projekten rund um das Thema »Batterien und Brennstoffzellen« bis hin zu innovativen Neuentwicklungen aus dem Bereich »Korrosionsschutz für den Leichtbau«.



BATTERIEN UND BRENNSTOFFZELLEN

Die Vortragssession **Batterien und Brennstoffzellen** behandelte zwei inhaltliche Schwerpunkte: Während das Vormittagsprogramm sich dem Thema »Batterien für stationäre Anwendungen« widmete, lag der nachmittägliche Fokus der Session bei den »Niedertemperatur PEM-Brennstoffzellen/Elektrolyseuren«. In Keynote-Vorträgen stellten ausgewählte Industrievertreter den Stand der Technik zu neuen Batteriesystemen und Katalysatoren aus ihrer Sicht dar. Ihre Beiträge fungierten als Impulsgeber für Diskussionen, aber auch als Basis für potentielle neue Kooperationsprojekte. Die Firma Sonnen aus Wildpoldsried, ein erfolgreiches, expandierendes Startup-Unternehmen für die Entwicklung von vernetzten Batteriesystemen mit Sonnenkollektoren sowie die Firma Heraeus, die als etablierter Katalysatorhersteller gilt, gewährten dabei Einblicke in aktuelle Entwicklungen. Auch Mitarbeiter des DFI präsentierten relevante Ergebnisse aus ausgewählten Projekten zu den Themen »Al-Ionen«, »Redox-Flow« und »mesoporöser Kohlenstoff«. Abgerundet wurde die Vortragssession durch einen Beitrag des MEET-Instituts zum Thema »Hochenergie Metall-Batterien« sowie der Uni Stuttgart zur »Niedertemperatur Co-Elektrolyse von Wasser und Kohlendioxid zu Ameisensäure/Formiat«.



KORROSIONSSCHUTZ FÜR DEN LEICHTBAU

Der Leichtbau gilt als eine der Schlüsseltechnologien in den Bereichen des Automobil- oder Flugzeugbaus. Dabei werden häufig Hybridkonstruktionen aus verschiedenen Werkstoffen, wie z. B. hoch- und höchstfeste Stähle, Aluminium, Magnesium sowie bei hohen Temperaturen Titanaluminide, Chromsilizide oder Keramikmatrixverbundwerkstoffe eingesetzt. Neben neuen Fügetechnologien für derartige Werkstoffverbunde werden dazu insbesondere angepasste Korrosions- bzw. Oxidationsschutzschichtkonzepte benötigt. Die am DFI hervorgegangenen Neuentwicklungen für den Korrosionsschutz von Leichtbauwerkstoffen in wässriger Umgebung, wie auch bei hohen Temperaturen wurden im Rahmen verschiedener Beiträge der Vortragsession **Korrosionsschutz für den Leichtbau** vorgestellt und diskutiert.

In einer nachhaltigen Gesellschaft ist es notwendig, neue Rohstoffquellen zu erschließen, weshalb die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen stärker forciert wird. Allerdings bedingt dies die Konkurrenz zwischen dem Anbau von Pflanzen als Rohstoffen für die Biotechnologie und dem Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. Diesen Konflikt kann ein neuer bioökonomischer Ansatz aus den C1-Technologien entschärfen, der in den Beiträgen der Vortragsession **C1 Biokonversion** vorgestellt und diskutiert wurde. Die vorgestellten Verfahren basieren auf der direkten biotechnologischen Nutzung von CO₂ oder einer Nutzung von Syngas, Formiat oder Methanol. Mit den Forschungen an solchen effizienten und klimaschonenden Verwertungskonzepten von kohlenstoffhaltigen Gasen wie CO₂, CO, Synthesegas oder Methan werden auch gesamtwirtschaftlich relevante Themen wie Klimawandel, Power-to-X und die Speicherung von elektrischer Energie adressiert.

C1 BIOKONVERSION



RE-SALT

WASSER SPAREN UND UMWELT SCHONEN

Dr. Markus Stöckl
› stoeckl@dechema.de

Dipl.-Ing. (FH) Stefanie Hild
› stefanie.hild@dechema.de

Die Ressource Wasser spielt sowohl im Großteil industrieller Prozesse als auch im kommunalen Bereich eine übergeordnete Rolle. So fallen beispielsweise bei der Herstellung von Kunststoffen große Mengen salzhaltiger (NaCl) Prozesswässer an, deren Entsorgung wirtschaftlich und ökologisch eine große Herausforderung darstellt. Verschärft wird die Lage durch die wachsende Weltbevölkerung und den Klimawandel.

In dem am DECHEMA-Forschungsinstitut durchgeführten Forschungsprojekt »Re-Salt« (BMBF, Förderkennzeichen 02WAV1408D) beschäftigen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Elektrochemie mit der Rückführung salzhaltiger Prozesswässer. Der Fokus richtet sich dabei auf den Gesamtprozess: die Rückgewinnung des Rohstoffes NaCl sowie der Wiederverwertung der anfallenden Wässer. Ziele sind die Steigerung der Ressourceneffizienz, die Vermeidung von Stoffeinträgen in den natürlichen Wasserkreislauf und die Verminderung des Primärwasserbedarfs.

Das Rückführen von Prozesswässern steht dabei vor der Herausforderung, dass noch enthaltene (organische) Verunreinigungen im Spurenstoffbereich (<mg/L) zu Störungen im Prozess oder zur Schädigung von Prozesskomponenten führen können.

Eine am DECHEMA-Forschungsinstitut angewandte Methode zur Entfernung der organischen Spurenstoffe ist die **Elektrosorption**. Dabei werden Verunreinigungen potentialgesteuert adsorbiert oder desorbiert. Dieses Verfahren wurde bereits erfolgreich zur Wasserentsalzung eingesetzt (K.-M. Mangold et al. 2005) und zielt auf eine effizientere Entfernung und bessere Regeneration der Adsorbermodule im industriellen Einsatz ab (siehe **lab₂industry** 02/2018 S. 6/7 sowie diese Ausgabe, S. 27).

Die Eigenschaften der organischen Verunreinigungen haben dabei einen großen Einfluss auf die Elektrosorption, wodurch der Prozess gezielt auf spezifische Prozesswasserströme zugeschnitten werden kann. Wichtige Faktoren sind unter anderem das angelegte Potential und das polarisierte Adsorbermaterial. Gängige Adsorbermaterialien sind Aktivkohlen. Im Rahmen des Projekts werden darüber hinaus auch andere (i.d.R. kohlenstoffbasierte) Materialien getestet.

Das Vorhaben zeichnet sich durch seine hohe Beteiligung an Industriepartnern und externen Forschungseinrichtungen aus: Covestro Deutschland AG (Verbundkoordinator), Donau Carbon GmbH, memsys GmbH, EnviroChemie GmbH, DVGW Technologiezentrum Wasser, Universität Duisburg-Essen, Technische Hochschule Köln.

Bei Re-Salt werden am DECHEMA-Forschungsinstitut Grundlagenforschung mit industrieller Anwendung kombiniert, um die Prozessindustrie bei einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Produktion zu unterstützen. //



K.-M. Mangold, K. Jüttner, C. Weidlich,
Patent DE 10218193 B4 (2005)

*Elektrochemische Plattenreaktoren
zur Elektrosorption und ein Kohlenstoff-basiertes
Adsorber-Material*



Elektrosorption

Bei der durch elektrochemische Polarisierung beeinflussten Adsorption wird die Oberflächenladung des Adsorbentmaterials durch das Anlegen einer elektrischen Spannung verändert. In Abhängigkeit von der Ladung der zu entfernenden Substanz kann die Adsorption dadurch verbessert werden. Durch Umpolung kann stoffspezifisch auch die Desorption (Regeneration des Adsorbenters) verbessert werden.



HOCHTEMPERATURVERSCHLEISSCHUTZSCHICHTEN FÜR TiAl-LEGIERUNGEN

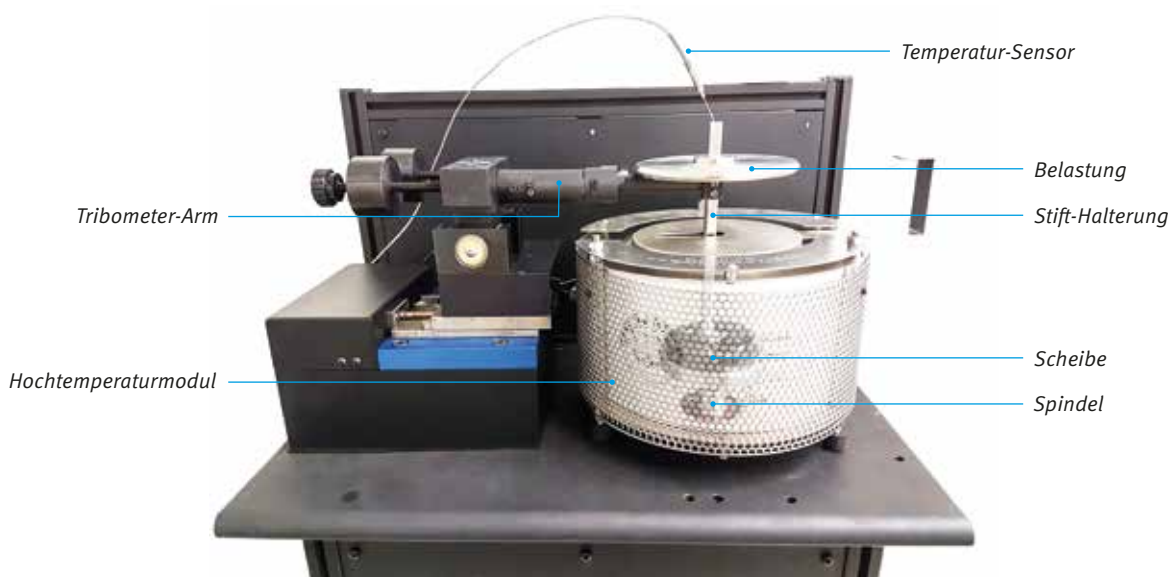
PD Dr.-Ing. Mathias Galetz
> mathias.galetz@dechema.de

M. SC. Lukas Mengis
> mengis@dechema.de

Reibungs- und Verschleißerscheinungen beeinflussen die Lebensdauer technischer Komponenten in vielen Technologiebereichen maßgeblich. So sind vor allem jene Systeme besonders stark betroffen, bei denen metallische Oberflächen unter mechanischer Last in direktem Kontakt zueinander stehen und darüber hinaus während des Betriebs hohen Umgebungstemperaturen ausgesetzt sind. Bei derartigen »Tribokorrosionsprozessen« kommt es zu einem Zusammenspiel zwischen der mechanischen Belastung und den entstehenden Korrosionsprodukten, welche mit zunehmender Umgebungstemperatur zu deutlich veränderten Verschleißmechanismen führen. Hierbei können sich bei hohen Umgebungstemperaturen Oxidschichten auf den belasteten Oberflächen wie eine Glasur ausbilden (engl. glazed oxides), die den direkten Kontakt der beteiligten Reibpartner während des Prozesses weitestgehend verhindern und somit den Verschleißverlust stark reduzieren.

Auch in Flugzeugtriebwerken kommt es zwangsläufig zu derartigen Verschleißphänomenen. Besonders stark betroffen sind hierbei die Kontaktstellen zwischen den metallischen Turbinenschaufeln und -scheiben, die trotz optimierter Passung geringfügigen Spielraum aufweisen und demnach Reibung ausgesetzt sind. Neben den klassischen Nickel-Basis Superlegierungen werden heutzutage sogenannte Titanaluminide (TiAl) als Schaufelmaterial im Niederdruckbereich der Turbinen eingesetzt, die unter anderem aufgrund ihrer erheblich geringeren Dichte von ca. 3,9–4,2 g/cm³ zu einer hohen Effizienzsteigerung führen. Obwohl Titanaluminidlegierungen bereits seit 2011 in Flugzeugtriebwerken eingesetzt werden, ist deren Verschleißverhalten speziell bei hohen Temperaturen weitestgehend unerforscht. Untersuchungen bei Raumtemperatur deuten hingegen bereits an, dass TiAl schlechte bis unzureichende Verschleißresistenz aufweist.

Folglich setzt sich das von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) finanzierte Forschungsprojekt mit obigem Titel zum Ziel, das Hochtemperaturverschleißverhalten von TiAl grundlegend zu untersuchen und zu verbessern. Das Projekt wird dabei von Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Hochtemperaturwerkstoffe des DECHEMA-Forschungsinstitutes bearbeitet. Die Verschleißuntersuchungen werden mittels Hochtemperaturtribometer bei Temperaturen von bis zu 800°C im Kontakt mit verschiedenen Reibpartnern durchgeführt. Übergeordnetes Ziel ist es dabei, eine verschleißresistente Beschichtung zu entwickeln, die zusätzlich auch die langfristige Oxidationsbeständigkeit des Werkstoffs gewährleistet. //



O BEN

Aufbau des Hochtemperatur-Tribometers

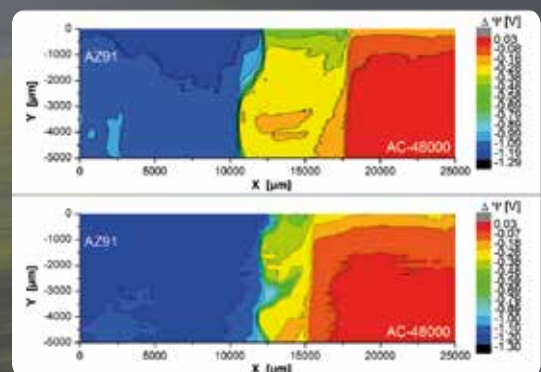
L INKS

Blick in das Hochtemperatur-Modul unmittelbar nach Beendigung eines Verschleißtests bei 800°C


VERRÜHRTE METALLE – EMPFINDLICH FÜR KORROSION?

Dr. Sigrid Benfer
> benfer@dechema.de


Leichtbau wird immer wichtiger, vor allem im Mobilitätssektor, wo es um Energieeinsparungen durch geringeres Gewicht geht. Eine Möglichkeit, dieses zu erreichen, ist der Einsatz verbesserter Materialien wie z. B. hochfester Stähle, von denen dann weniger Material gebraucht wird. Die andere Möglichkeit ist der Einsatz von Leichtmetallen wie Aluminium- und Magnesiumlegierungen, wobei sich durch Kombination verschiedener Leichtmetalle in einem Bauteil besonders interessante Anwendungspotenziale eröffnen.



Voltapotentiale-Verteilung von Al/Mg-Verbunden hergestellt mit dem normalen FSW-Verfahren OBEN und mit zusätzlichem Ultraschall-Eintrag UNTEN, der eine schmalere Fügezone bewirkt.



Mit Hilfe der Rasterkelvinsonde können Potentialdifferenzen an Luft zwischen den Metallen und im Fügebereich gemessen und orts aufgelöst »sichtbar« gemacht werden.



ultraschall in die Schweißzone eingebracht. Dieser gekoppelte Prozess wird als ultraschallunterstütztes Rührreißschweißen (USE-FSW) bezeichnet.

Die positive Wirkung des zusätzlichen Ultraschalls auf die Verbindungsfestigkeit von Al/Mg-Verbindungen konnte bereits nachgewiesen werden¹. Da Mischverbunde aus unterschiedlichen Metallen schon allein aufgrund des zwischen den Fügepartnern vorliegenden elektrochemischen Potentialunterschiedes stark korrosionsgefährdet sind, werden am DFI umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich des Korrosionsverhaltens durchgeführt. Mit Hilfe der Rasterkelvinsonde können Potentialdifferenzen an Luft zwischen den Metallen und im Fügebereich gemessen und orts aufgelöst »sichtbar« gemacht werden. Die gemessene Potentialdifferenz liegt sowohl bei den Al/Mg-Verbunden¹ als auch bei Al/Stahl-Verbunden² bei etwa 1 V, jedoch gleichen sich hier in wässriger Umgebung die Potentiale schnell an. Nach 60 min Elektrolytkontakt ist das Ruhepotential des Stahls dann leicht negativer als das der Aluminium-Legierung, während an Luft noch ein um ca. 1 V positiveres Potential gemessen wurde². Aufgrund des dann sehr geringen Potentialunterschiedes zwischen dem Stahl und der Aluminium-Legierung ist die Gefahr der beschleunigten Korrosion durch die Bildung eines galvanischen Elementes hier sehr gering. Anders verhält es sich mit Al/Mg-Hybridverbunden. Hier weisen die Ausgangslegierungen auch in Salzlösung eine Differenz von etwa 1 Volt im Ruhepotential auf. Dies führt insbesondere bei gleichzeitigem Elektrolytkontakt der Magnesiumlegierung und der Schweißnaht zu einer deutlich verstärkten Korrosion des Magnesiums.

Die Untersuchungen liefern somit Informationen darüber, ob bei einem Hybridbauteil die Gefahr der Ausbildung eines galvanischen Elementes besteht und in welchen Bereichen verstärkte Korrosion auftreten kann. Diese Bereiche müssen bei einem möglichen Einsatz durch Schutzschichten oder andere Maßnahmen vor dem direkten Kontakt mit korrosiven Medien geschützt werden.

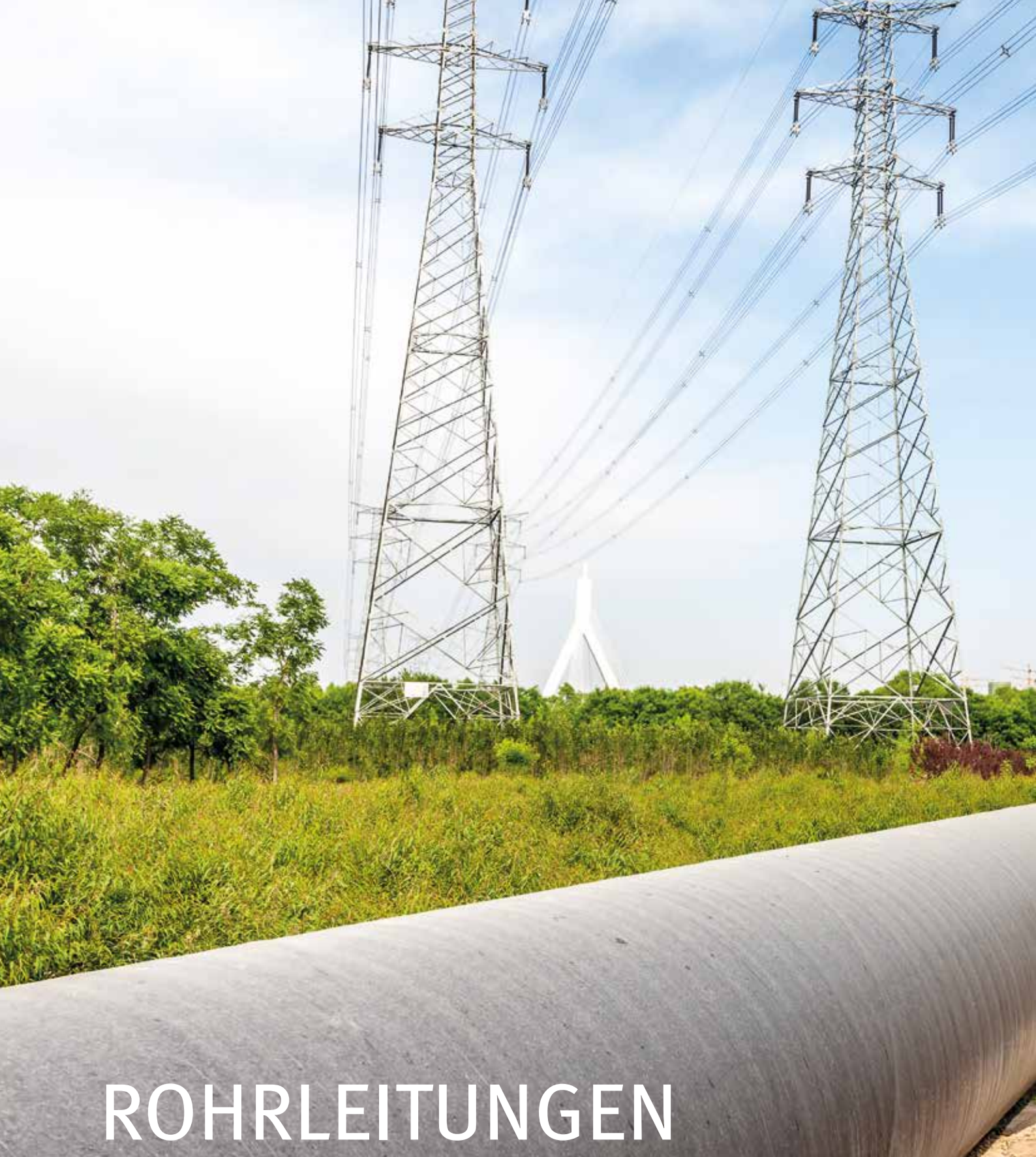
Weitere Informationen und Veröffentlichungen findet man auch auf der Projektseite www.dechema-dfi.de/rührreißschweißen.html



¹ S. Benfer, B. Straß, G. Wagner, W. Fürbeth *Manufacturing and corrosion properties of ultrasound supported friction stir welded Al/Mg-hybrid joints Surface and Interface Analysis* 48 (2016) 843-852

² M. Thomä, G. Wagner, B. Straß, B. Wolter, S. Benfer, W. Fürbeth *Ultrasound enhanced friction stir welding of aluminum and steel: process and properties of EN AW 6061/DCo4-Joints Journal of Materials Science & Technology* 34 (2018) 163-172

Zur Herstellung solcher sog. Hybridstrukturen sind geeignete Fügeverfahren notwendig. Das Fügen mit den üblichen Schmelzschweißverfahren ist aber zum einen aufgrund der unterschiedlichen Schmelzbereiche der verschiedenen Werkstoffe (z.B. Aluminium und Stahl) nicht möglich. Zum anderen kommt es in der Fügezone häufig zu unerwünschten Mischphasenbildungen (z.B. Aluminium und Magnesium), die die Verbindungsfestigkeiten erheblich reduzieren. Daher wird im Rahmen des Projektes das innovative Rührreißschweißverfahren (Friction Stir Welding, FSW) zum Fügen von Al-Guss- mit Mg-Guss-Legierungen eingesetzt, da beide Werkstoffgruppen breite Anwendungsfelder aufweisen, jedoch nicht miteinander schmelzschweißbar sind. Auch Verbindungen von Al-Legierungen mit Stahl sollen auf diese Weise realisiert werden. FSW ermöglicht ein Fügen durch plastische Deformation. Um festigkeitsmindernde Effekte durch eventuell auftretende Sprödphasen auszuschließen und die Durchmischung des Fügebereichs zu intensivieren, wird zusätzlich Leistungs-



ROHRLEITUNGEN UNTER HOCHSPANNUNG

PD Dr.-Ing. Wolfram Fürbeth
> wolfram.fuerbeth@dechema.de



Erdverlegte Rohrleitungen für z. B. den Transport von Erdgas werden üblicherweise durch eine Kombination aus organischer Umhüllung und kathodischem Korrosionsschutz vor einem Korrosionsangriff geschützt. Trotz jahrzehntelanger Erfahrung kommt es jedoch immer wieder zu Korrosionsschäden dort, wo Rohrleitungen parallel zu oberirdischen Hochspannungsfreileitungen verlaufen. Aufgrund der hohen elektrischen Felder wird dabei auf den erdverlegten Rohrleitungen eine Wechselspannung induziert, die dem kathodischen Schutzgleichstrom überlagert ist. Hierdurch kann es zu der sogenannten Wechselstromkorrosion kommen. Diese führt dazu, dass auf kathodisch an sich ausreichend geschützten Rohrleitungen dennoch lokal ein massiver Abtrag auftreten und die Integrität gefährdet sein kann. Dies kann insbesondere bei Gashochdruckleitungen fatale Folgen haben.

Das Phänomen der Wechselstromkorrosion ist grundsätzlich lange bekannt, gewinnt jedoch heute im Zuge der Energiewende, die den Neubau, die Erweiterung oder die Leistungserhöhung von Hochspannungsfreileitungssystemen erforderlich macht, an zusätzlicher Bedeutung. Da es üblich ist, Energietrassen mit längerer Parallelführung von Hochspannungsleitungen und erdverlegten Rohrleitungen auszubilden, kommt es zu einer Zunahme der Wechselstrom-Beeinflussung auf den erdverlegten Anlagen. Die Theorien zur Wechselstromkorrosion wurden bisher jedoch auf rein phänomenologischer und thermodynamischer Basis entwickelt. Sie weisen deshalb noch erhebliche Erklärungslücken auf, so dass bis heute kein allgemein anerkanntes Verständnis dieser Spielart der Korrosion vorliegt. Die bisher abgeleiteten Maßnahmen zum Schutz vor Wechselstromkorrosion können daher nicht auf einem wissenschaftlich gesicherten Fundament aufbauen. Weiterhin sind sie in der Praxis durch die Rohrnetzbetreiber und die ausführenden Unternehmen (vor allem kleine und mittlere Unternehmen) nur schwer umsetzbar, weil die Einhaltung der Schutzkriterien unter Wechselspannungsbelastung oft mit klassischen Schutzmaßnahmen gegen Bodenkorrosion kollidiert.

Daher wurde durch den Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz fkks e.V. ein Forschungsvorhaben initiiert und an die Arbeitsgruppe Korrosion am DECHEMA-Forschungsinstitut herangetragen, mit dem nun ein fundierteres Modell zur Erklärung aller Mechanismen der Wechselstromkorrosion erarbeitet werden soll. Hierbei soll der Fokus insbesondere auf der Kinetik derartiger Prozesse und den Veränderungen in der Deckschicht auf der kathodisch geschützten Stahloberfläche liegen. Auf der Basis des daraus zu generierenden Modells sollen in Zukunft den Betreibern und Installationsfirmen Maßnahmen zum Schutz kathodisch geschützter Anlagen gegen Wechselstromkorrosion sowie neue Messmethoden zur besseren Erkennung einer evtl. vorliegenden Gefährdung derartiger Anlagen an die Hand gegeben werden können. Das über die Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V. beantragte IGF-Vorhaben 20273N hat am 01. Oktober 2018 begonnen und wird intensiv durch den Fachverband begleitet werden. //



WEITERBILDUNG FÜR DIE PRAXIS

In unseren Kursen verbinden wir theoretisches Wissen mit praxisnahen Anwendungen

EXZELLENT UND PRAXISNAH DFI-WEITERBILDUNGSKURSE

Bereits seit vielen Jahren bieten unsere praxisnahen Weiterbildungskurse fachliche Exzellenz und kompetente Qualifizierungsmöglichkeiten für Chemiker, Ingenieure, Biotechnologen und Werkstoffwissenschaftler.

Unser Kursangebot umfasst Schwerpunktthemen aus den Bereichen

- › Biotechnologie
 - › Elektrochemie
 - › Korrosion und Korrosionsschutz
 - › Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
 - › Sicherheitstechnik
 - › Verfahrens- und Reaktionstechnik
- sowie deren Querschnittsthemen.

Alle Weiterbildungsangebote des DFI basieren auf dem aktuellen Stand der Technik und greifen auch zukunftsweisende Entwicklungen auf.

Bei der Kursgestaltung wird besonderer Wert darauf gelegt, neue wissenschaftliche Methoden in die industrielle Praxis zu transferieren.

Ob Industrie oder Hochschule: Naturwissenschaftler, die im Berufsleben dauerhaft erfolgreich sein möchten, können mit unserem umfangreichen und vielfältigen Weiterbildungsangebot ihre fachliche Exzellenz aufrecht erhalten und ausbauen. Unternehmen, die in die Weiterqualifizierung ihrer Mitarbeiter investieren, bleiben zukunftsfähig.//



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.

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

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

Patrice Mengler
+49 (0) 69 7564-202
patrice.mengler@dechema.de

www.dechema-dfi.de/kurse

Februar 2019

04. – 06.02.

Sicherheit chemischer Reaktionen

13. – 14.02.

Grundlagen der Auslegung, Modellierung und Simulation von Chemiereaktoren

14.02.

NEU Spurenstoffe in kommunalen Wasserkreisläufen

19. – 21.02.

Protein-Ligand Docking und Virtual Screening für Einsteiger / in Erlangen

20. – 21.02.

Scale-Up

März 2019

06. – 07.03.

Kostenschätzung

19. – 20.03.

Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – Grundlagen

Anerkannt als Weiterbildungskurs für Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte im Sinne der 5. BImSchV

21.03.

Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie – SIL-Berechnung leicht gemacht

Anerkannt als Weiterbildungskurs für Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte im Sinne der 5. BImSchV

April 2019

08. – 09.04.

Multivariate Datenanalyse für die Pharma-, Bio- und Prozessanalytik

08. – 10.04.

Sicherheitstechnik in der Chemischen Industrie

Anerkannt als Weiterbildungskurs für Störfallbeauftragte im Sinne der 5. BImSchV

10. – 11.04.

Prozessregelung verfahrenstechnischer Prozesse

11.04.

Cyclovoltammetrie

Mai 2019

27. – 28.05.

Explorative Datenanalyse

Juni 2019

27.06.

Der SIL-Tag

Juli 2019

03. – 05.07.

Design of Experiments

08. – 09.07.

Produktentwicklung – Von der Idee zum chemiebasierten Produkt

10.07.

NEU Verständlich kommunizieren – Themen aus Forschung und Entwicklung zielgruppengerecht aufbereiten

17. – 18.07.

Maßstabsvergrößerung katalytischer Reaktoren

INTERN



BIOFLAVOUR 2018 – Wir haben die Nase vorn

Vom 18. bis 21. September lockte die BIOFLAVOUR 2018 mit Prof. Schrader als Conference Chair 190 Teilnehmer aus 27 Ländern ins DECHEMA-Haus nach Frankfurt, darunter über 40% aus der Industrie. Die vom DFI initiierte und erstmals im Jahr 2015 zusammen mit dem DECHEMA e.V. veranstaltete Tagung hat sich damit als der internationale »Hot Spot« der biotechnologisch forschenden und produzierenden Aroma- und Riechstoffwelt etabliert. Die BIOFLAVOUR findet alle drei Jahre statt und widmet sich der »Biotechnology of Flavours, Fragrances and Functional Ingredients«; Schwerpunkt in diesem Jahr waren wieder »Microbial Cell Factories«. Dieses Thema wird auch am DFI aktiv beforscht und unterstreicht, dass sich das Institut hier auf einem zukunftsweisenden Weg befindet. Ausgewählte Tagungsbeiträge werden in einer Sonderausgabe des ACS Journal of Agricultural and Food Chemistry veröffentlicht.



EFC-Workshop

Vom 26. bis 28. September 2018 fand zum 7. Mal der ursprünglich von der Working Party 3 »Corrosion by Hot Gases and Combustion Products« der European Federation of Corrosion initiierte Workshop im Bereich Hochtemperaturkorrosion statt. Der Workshop wurde von PD Dr. Mathias Galetz und Herrn Dr. Dmitry Naumenko (Forschungszentrum Jülich) gemeinsam mit der Tagungsabteilung des DECHEMA e.V. organisiert. Diesmal trafen sich mehr als 100 Teilnehmer aus Wissenschaft und Industrie zum Thema »High Temperature Corrosion under Complex Conditions, Deposits and Salts: Towards Greener Energy« und diskutierten intensiv die Forschungsfortschritte auf diesem Gebiet weltweit, da dieser zunächst rein europäische Workshop sich mittlerweile zu einem der bedeutendsten internationalen Events mit Teilnehmern aus Asien, Australien, Europa und USA entwickelt hat. Die präsentierten Arbeiten werden in einem Sonderband der Zeitschrift Materials and Corrosion veröffentlicht.



*Die Innovationsratsmitglieder
Dr. André Schievenbusch,
Dr. Rüdiger Tiefers (beide
ACCESS e.V.) und Prof. Jens
Schrader im Gespräch (v.l.n.r.).*



ZUSE-GEMEINSCHAFT

Wechsel im Innovationsrat der Zuse-Gemeinschaft

Prof. Jens Schrader, Vorstand des DFI, wurde von der Mitgliederversammlung am 9.10 in Berlin als Nachfolger von Prof. Michael Schütze in den Innovationsrat gewählt. Mit der Zuse-Gemeinschaft gaben sich im Januar 2015 privatwirtschaftlich organisierte, gemeinnützige Forschungseinrichtungen erstmals eine gemeinsame Stimme und Vertretung. Das DFI gehört zu den Gründungsmitgliedern und ist von Beginn an im Innovationsrat der heute mehr als 70 Forschungseinrichtungen umfassenden Gemeinschaft vertreten.



»Gut zu wissen«: Das DFI im Fernsehen

Erfolgreiche DFI-Projekte können auch nach Abschluss der Forschungsarbeiten großes öffentliches Interesse erfahren. Das zeigte jüngst ein Fernsehbeitrag des Bayerischen Rundfunks. In der Sendung »Gut zu wissen« wurde am 16.06.2018 das vom BMBF geförderte Projekt KESTro

(»Kläranlagen als Energiepuffer für Stromnetze«, Förderkennzeichen 02WER1315A) vorgestellt. Gemeinsam mit Christoph Siemers, Betriebsleiter des Klärwerks Steinhof in Braunschweig, stellte Stefanie Hild aus der Arbeitsgruppe Elektrochemie das Thema Mikrobielle Brennstoffzelle in kommunalen Kläranlagen vor.

Mikrobielle Brennstoffzellen können dazu eingesetzt werden, aus organischen Substanzen im Abwasser elektrischen Strom zu gewinnen. In Kombination mit einem energieintensiven System zur elektrochemischen Spurenstoffelimination kann diese Technologie als Energiepuffer-System in Kläranlagen eingesetzt werden (siehe **lab₂industry** 01/18, S. 16/17).

Zum Beitrag:





DECHEMA-ZENTRUM FÜR KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ

Ihr Partner für Korrosionsprüfung und individuelle Korrosionsschutzkonzepte

Beurteilung von Schadensfällen

Schadensmechanismen

- › Elektrolytische Korrosion
- › Hochtemperaturkorrosion
- › Kriechen/Ermüdung
- › Reibung/Verschleiß
- › Veränderung in der Mikrostruktur
- › Heißrisse
- › Schweißschäden

Analytik

- › Mikrostrukturanalyse
- › Chemische Analyse
- › Lichtmikroskopie
- › Elektronenstrahlmikroskopie

Werkstoffauswahl

- › Beratung
- › Datenbankrecherche
- › Thermodynamische und kinetische Simulation

Werkstoffprüfung

Elektrolytische Korrosionsprüfung

- › Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen
- › Auslagerungsprüfungen in aggressiven Medien
- › Salzsprühkammerprüfung

Hochtemperaturlagerungen

- › Isotherme und thermozyklische Bedingungen
- › Bis zu 1.400 °C und 20 bar
- › verschiedene aggressive Atmosphären und Beläge

Kombinierte Prüfverfahren

- › Tribokorrosion
- › Hochtemperatur-Tribometrie
- › Kriechverhalten
- › 4-Punkt-Biege-Prüfungen mit Schallemissionsanalyse

Werkstoff- und Schutzschichtentwicklung

Korrosionsschutz

- › Sol-Gel/Nanopartikelbasierte Schutzschichten
- › Anodisieren/Plasma-elektrolytische Oxidation
- › Ultraschallunterstütztes Oxidwachstum

Oxidationsschutz

- › Hochtemperaturbeständige Legierungen
- › Sputtern/CVD-Schichten
- › Schlickerschichten



