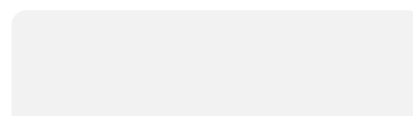
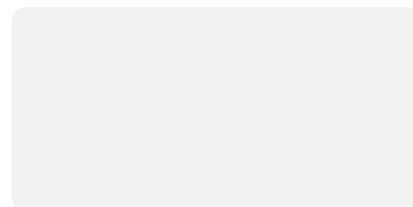


# AUFTRAG:FORSCHUNG

Unser Angebot für Unternehmen



## INHALT

Korrosionsschutz	4
Funktionale Oberflächen	10
Batterien und Brennstoffzellen	16
Elektrochemie	22
Photokatalyse	28
Industrielle Biotechnologie	34
Technische Ausstattung	40
Weiterbildung	44

### 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

Torsten Huß  
Prof. Dr. Jens Schrader (V.i.S.d.P.)

### GESTALTUNG

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten

### DRUCK

DFS Druck Brecher GmbH, Köln



### BILDNACHWEIS

Covestro Deutschland AG (S. 22), DECHEMA-Forschungsinstitut (S. 2, 8, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 24, 25, 27, 28, 30, 33, 38), Hitachi High-Technologies Europe GmbH (S. 40), Lindner & Steffen (S. 7, 19, 25, 31, 37), Stefan Streit Fotografie (S. 6, 9, 18, 24, 26, 30, 32, 36, 39, 42, 43, 44) Adobe Stock: aapsky (S. 4), 4Max (S. 10), koi88 (S. 12), frog (S. 14), xiaoliangge (S. 16), luchschen (S. 21), Grispb (S. 34), ManuPadilla (S. 44)

In dieser Broschüre wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen jeden Geschlechts.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Frankfurt am Main, Dezember 2019



## Kompetent und innovativ: Das DFI als Forschungspartner der Industrie

Am DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) entwickeln wir zukunftsweisende und nachhaltige Technologien, um die Energie- und Rohstoffwende unserer Gesellschaft aktiv mitzugestalten.

Wir sind leistungsstarker Partner der Industrie und bringen dabei unser über Jahrzehnte aufgebautes Wissen ein. Unser Angebotsspektrum umfasst die Bereiche Korrosionsschutz, funktionale Oberflächen, Batterien, Brennstoffzellen, Elektrochemie, Photokatalyse und industrielle Biotechnologie.

Wir kombinieren Spezialwissen und fachübergreifende Zusammenarbeit und liefern so unseren Auftraggebern einen echten Mehrwert – unabhängig von der jeweiligen Branche. Unser Service reicht von reinen Prüfaufträgen bis zur Entwicklung maßgeschneiderter, interdisziplinärer Lösungen für komplexe Problemstellungen rund um Materialien und Prozesse.

Dabei haben wir immer die Bedürfnisse der Unternehmen nach Innovationen zur Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit im Blick. Das DFI betreibt neben industrienaher Forschung immer auch Grundlagenforschung. So stellen wir sicher, stets auf dem aktuellsten Stand der Wissenschaft zu sein. Ein Wissensvorsprung, von dem auch unsere Kunden der industriellen Auftragsforschung profitieren.

Mit der vorliegenden Broschüre **AUFTRAG:FORSCHUNG** geben wir Ihnen einen Überblick über die industrienahen Forschungsschwerpunkte und das Leistungsangebot unseres Instituts.

Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit mit Ihnen.

PROF. DR. JENS SCHRADER  
STIFTUNGSVORSTAND  
AM DECHEMA-FORSCHUNGSINSTITUT



## Das DECHEMA-Forschungsinstitut

Das DECHEMA-Forschungsinstitut (DFI) wurde am 1. März 2012 von einer Gruppe industrieller und privater Stifter ins Leben gerufen und stellt die konsequente Fortführung des seit 1961 bestehenden Forschungsinstituts der DECHEMA e.V. dar. Seitdem ist es als unabhängige und gemeinnützige Stiftung organisiert. Am Institut arbeiten mehr als 80 Wissenschaftler und Techniker eng mit Partnern aus der Industrie und Hochschulen zusammen.

Es ist unsere Mission, zukunftsweisende und nachhaltige Technologien für die Energiewende, den Klimaschutz und die Ressourcenschonung zu entwickeln. Unsere Forschung ist interdisziplinär, anwendungsorientiert und zukunftsweisend. Unsere Arbeiten decken die gesamte Spanne von der anwendungsorientierten Grundlagenforschung bis zur bilateralen Forschungskooperation mit Unternehmen ab. Auf diese Weise erfüllen wir eine wichtige Brückenfunktion zwischen akademischer Forschung und Industrie und gestalten den technologischen Innovationsprozess unserer Gesellschaft mit. Mit unserer experimentellen Arbeit komplementieren wir die Aktivitäten unserer Partnerinstitution, der Fachgesellschaft DECHEMA e.V., um uns gemeinsam für eine moderne und zukunftsfähige Industriegesellschaft zu engagieren.

### INTERDISZIPLINÄR

Biotechnologie, Chemische Technik und Werkstoffforschung unter einem Dach – diese Interdisziplinarität und methodische Breite sind ein Alleinstellungsmerkmal unseres Instituts. Damit bieten wir unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeitern ein in der deutschen Forschungslandschaft einzigartiges Potential für innovative Lösungen. Mit unserer Forschung an den Grenzen der Disziplinen liefern wir neuartige und kreative Lösungskonzepte. Wir sind davon überzeugt, dass der fachübergreifende Austausch und das gemeinsame Forschen von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren eine wesentliche Basis für unsere wissenschaftliche Exzellenz ist.

### ANWENDUNGSORIENTIERT

Wir verstehen die gesellschaftlichen Herausforderungen von morgen und bilden die Brücke zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und industrieller Anwendung. Durch vertrauensvolle und partnerschaftliche Zusammenarbeit bereiten wir den Weg zu neuartigen Verfahren und Produkten. Dabei zeichnet sich unsere Arbeit durch Begeisterung, Flexibilität aber auch Pragmatismus und ein geringes Maß an Bürokratie aus. Unsere Innovationskraft wird von einem starken Netzwerk in Wissenschaft und Industrie gestützt. Davon profitieren nicht nur unsere Partner in der Industrie, insbesondere der deutsche Mittelstand, sondern auch der gesamte Forschungsstandort Deutschland.

### ZUKUNFTSWEISEND

Als gemeinnützige und unabhängige Stiftung wollen wir mit unserer Forschung die technologische Zukunft unserer Gesellschaft mitgestalten. Dazu arbeiten wir an innovativen Lösungen für die Schonung unserer Ressourcen, den Klimaschutz und die Energiewende. Erfahrung und Wissen in unseren Kernbereichen Biotechnologie, Chemische Technik und Werkstoffe bilden eine einzigartige Ausgangsbasis für unsere Forschung. Damit auch künftige Generationen hiervon profitieren, ist der Wissenstransfer ein weiteres Kernanliegen unserer Stiftung. Wir bieten unserem wissenschaftlichen Nachwuchs einen Rahmen für die fachliche und persönliche Weiterentwicklung und bieten Interessierten aus Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft Weiterbildungskurse an unserem Institut an.

## Ihre Vorteile auf einen Blick

### LANGJÄHRIGE EXPERTISE

Wir verfügen über mehr als 50 Jahre Expertise auf den Gebieten Werkstoffe, Chemische Technik und Biotechnologie. Durch die Bündelung unterschiedlicher Fachbereiche »unter einem Dach« entwickeln wir kreative, innovative Lösungen für Material- und Prozessfragen der Industrie.

### UMFASSENDES ANGEBOT

Wir sind kompetenter Partner der Chemie, Biotechnologie, des Apparate- und Anlagenbaus sowie des Mobilitäts- und Energiesektors. Unseren Kunden bieten wir ein breites Spektrum an Dienstleistungen: von klassischen Prüfaufträgen bis zu passgenauen Lösungen für komplexe Fragestellungen. Dabei können wir auf eine erstklassige technische Ausstattung zurückgreifen.

### SCHNELLE UMSETZUNG

Als unabhängiges, mittelständisches Forschungsinstitut können wir besonders flexibel auf die Anforderungen unserer Kunden reagieren. Bei Vertragsschließung und Durchführung von Aufträgen arbeiten wir unbürokratisch und pragmatisch mit Ihnen zusammen. Eine schnelle und zuverlässige Umsetzung Ihres Projekts ist unser Ziel.

### PERSÖNLICHE BERATUNG

Unser erfahrenes Team technischer und wissenschaftlicher Mitarbeiter garantiert eine maximale Kontinuität in der Zusammenarbeit. Wir begleiten Sie in jedem Projektschritt und entwickeln mit Ihnen die optimale Lösung zu Ihrer individuellen Anforderung. Gerne beraten wir Sie hinsichtlich der Nutzung staatlicher Förderinstrumente.



## ZUSE-GEMEINSCHAFT

Als Gründungsmitglied der Deutschen Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V. sind wir Teil eines starken Netzwerks für die mittelstandsnahe Forschung



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

# 250

Mehr als 250 realisierte  
Industrieprojekte im  
Bereich Korrosions-  
schutz in den letzten  
fünf Jahren

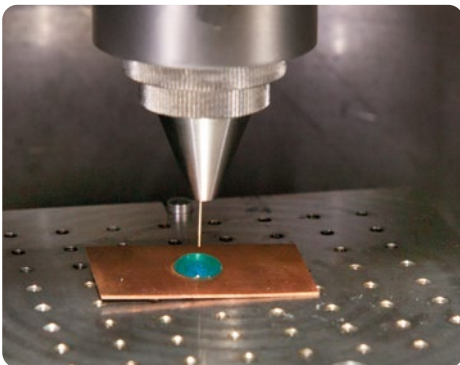


# Korrosionsschutz





Gute Korrosionsschutzkonzepte sind ein enormer Wirtschaftsfaktor. Schließlich verbraucht Korrosion wertvolle Ressourcen und ist häufig mit hohen Folgekosten für die Industrie verbunden.



Allein in Deutschland entsprechen die jährlichen Verluste durch Korrosion ungefähr der Jahresproduktion eines Stahlwerkes, weltweit sogar ungefähr dem gesamten Jahresverbrauch Deutschlands.

Überall dort, wo metallische Bauteile eingesetzt werden, kann Korrosion entstehen. Trotzdem werden Bauteile und die einwirkenden Einflüsse häufig erst dann betrachtet, wenn ein Schaden entstanden ist. Dabei können die meisten Korrosionsschäden durch fundierte Korrosionsberatung, vorbeugende Korrosionsprüfung sowie die Entwicklung neuer adäquater Schutzmaßnahmen vermieden werden. Zudem leistet Korrosionsschutz einen wichtigen Beitrag für eine ressourcen- und umweltschonende Industriegesellschaft, denn er erhöht die Lebensdauer von Bauteilen, Anlagen und Fahrzeugen. Eine fundierte Korrosionsberatung spart Kosten, reduziert den Energieverbrauch und schont die Ressourcen.



Das DECHEMA-Forschungsinstitut betreibt seit mehr als 50 Jahren Korrosionsforschung. Daher sind unsere Wissenschaftler mit den sich ändernden Anforderungen an den Korrosionsschutz bestens vertraut. Egal ob elektrochemische Messmethoden, nano-technologische Ansätze oder Korrosionsmechanismen in Elektrolyten sowie in verschiedenen aggressiven Hochtemperaturumgebungen: sie waren und sind an der Entwicklung oder deren Einsatz beteiligt. Aufgrund dieser jahrelangen Erfahrung im Bereich Werkstoffe und Korrosion bündeln wir unser Wissen aus den unterschiedlichen Disziplinen nun im DECHEMA-Zentrum für Korrosion und Korrosionsschutz.

Das Zentrum bietet eine in der deutschen Forschungslandschaft einmalige Kombination. Wir kombinieren unsere Kompetenzen der elektrolytischen Korrosion, der Elektrochemie und der Hochtemperaturkorrosion mit der Expertise aus der Chemischen Technik und Bioverfahrenstechnik. Dadurch betrachten wir Prozesse ganzheitlich und nutzen unsere Synergien optimal. Das Ergebnis ist bedürfnisorientierte Werkstoff- und Korrosionsforschung aus einer Hand. Von der Werkstoffneuentwicklung und angepassten Schutzmaßnahmen über die Korrosionsuntersuchung und -prüfung bis hin zur Schadensaufklärung. Auch bei der Entwicklung und dem Bau von Messapparaturen unterstützen wir Sie gerne mit unserer Erfahrung und unserer mechanischen Werkstatt.

In den letzten fünf Jahren bearbeiteten unsere Wissenschaftler mehr als 250 Industrieaufträge. Dabei reichten die Aufgaben von der Schadensfallanalyse über die Beurteilung von Korrosionssystemen im Rahmen von Korrosionsuntersuchungen und Werkstoffempfehlungen bis hin zu verfahrenstechnischen Korrosionsschutzmaßnahmen. Viele unserer Aufträge entstammen der Automobil-, Energie- und Chemiebranche, bei hohen Temperaturen mit besonderem Bezug zu fossilen Energieträgern. Über unsere Forschungstätigkeit generiertes Wissen nutzen wir, um neue Technologien, z.B. bei der Energieerzeugung und -speicherung schnell, effizient und zuverlässig zur technischen Umsetzung zu führen.

Dies gilt insbesondere für neue Korrosionsschutzkonzepte wie Nanopartikel-basierte Schutzschichten, optimierte Anodisierverfahren, Oxidationsschutzschichten für intermetallische Werkstoffe, keramische Wärmedämmschichten und neue funktionale Hochtemperaturschutzschichten für den Einsatz in hoch aggressiven Atmosphären bei hohen Temperaturen.

#### IHRE ANSPRECHPARTNER FÜR KORROSIONSSCHUTZ



**Prof. Dr.-Ing. Wolfram Fürbeth**

+49 (0) 69 7564 398  
wolfram.fuerbeth@dechema.de

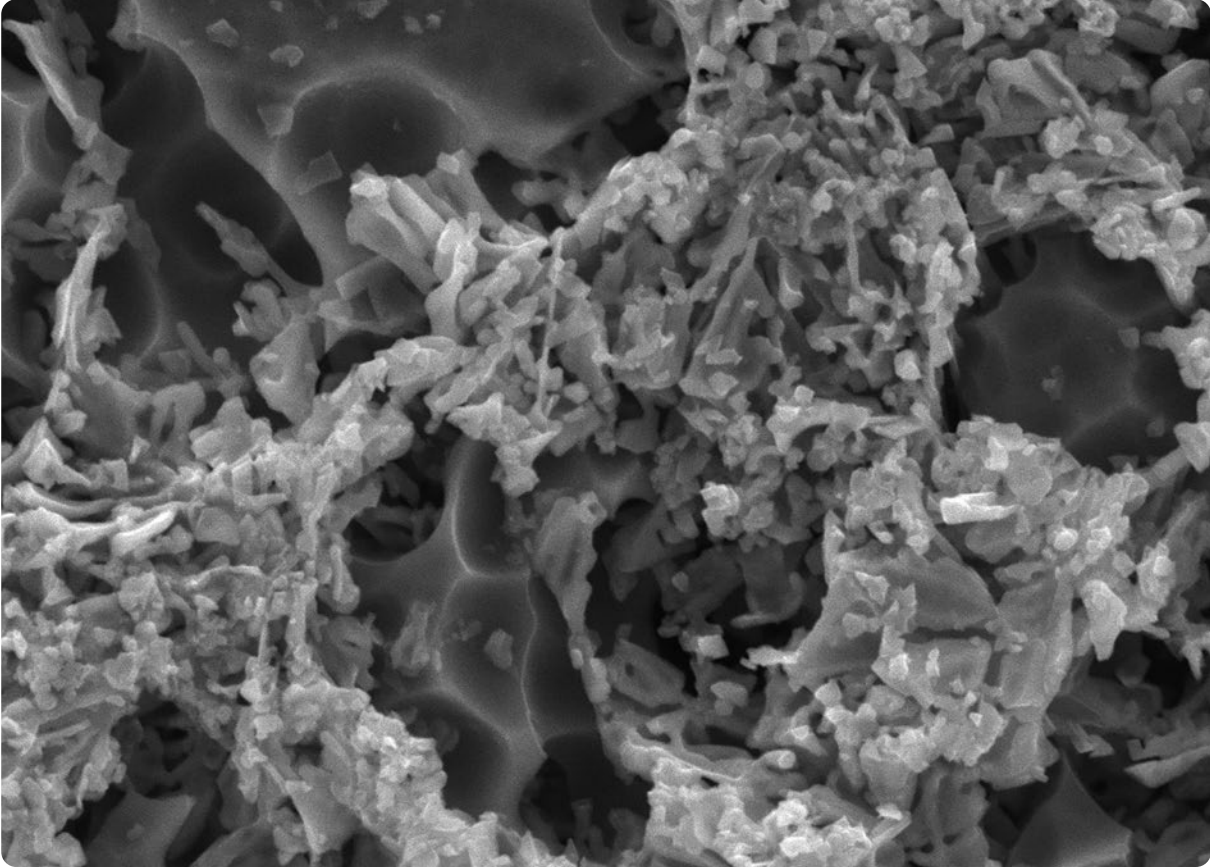
› Elektrolytische Korrosion



**PD Dr.-Ing. Mathias Galetz**

+49 (0) 69 7564 397  
mathias.galetz@dechema.de

› Hochtemperaturwerkstoffe



## BEST PRACTISE

### *Untersuchung der Korrosionsmechanismen der Taupunktkorrosion in Aluminium-Wärmetauschern*

*Fortgeschrittene Taupunktkorrosion auf einem Aluminium-Wärmetauscher*

*Brennwertkessel werden nicht nur im Wohnungsbau verwendet, sondern auch für kaskadierte Systeme in gewerblichen oder industriellen Gebäuden. Aus dem Abgas des Boilers wird dabei ein Kondensat gewonnen, um den thermischen Wirkungsgrad des Kessels zu erhöhen. Im Kondensatsammler fließen das Kondensat aus Wärmeaustauscher und Abgaskanal zusammen in Richtung eines Siphons.*

*Während der Erprobung derartiger Kesselsysteme kam es jedoch häufig innerhalb weniger Monate zur Kontamination und Verstopfung des Wärmetauschers und der Ableitungen mit Korrosionsprodukten und nachfolgendem Ausfall des Gerätes. Bestrebungen zu einer kompakteren Bauweise führen zu Wärmeaustauschern mit schmaleren Gaskanälen, die durch*

*Korrosion noch leichter zugesetzt werden. Dies ist ein dringendes Problem in den neuen Kessel-Modellen.*

*Um die operative Leistung der Wärmeaustauscher zu verbessern und Wartungsfreiheit zu gewährleisten, werden zuverlässige Konstruktionsrichtlinien und Bedienphilosophien für diese Art von Systemen erforderlich. Zu diesem Zweck sollte durch systematische elektrochemische und werkstoff-analytische Untersuchungen ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse, die zur Verschmutzung/Verstopfung von Wärmeaustauschern und Ableitungen führen, erzielt werden. Dazu wurde eine spezielle Versuchsanlage zur Simulation der Taupunktkorrosion aufgebaut.*

## Unsere Leistungen

- › Beurteilung von Schadensfällen durch metallographische und hochauflösende Methoden
- › Werkstoffauswahl für Bauteile und Anlagen
- › Elektrolytische Korrosionsversuche
- › Hochtemperaturkorrosionsversuche
- › Tribokorrosionsuntersuchungen
- › Hochtemperaturwerkstoffentwicklung
- › Entwicklung und Transfer neuer Korrosionsschutzkonzepte (Nanopartikel-basierte Schutzschichten, Optimierte Anodisierverfahren, Oxidationsschutzschichten für intermetallische Werkstoffe, Keramische Wärmedämmschichten, Neue funktionale Hochtemperaturschutzschichten, minimal-invasiver Hochtemperaturkorrosionsschutz)



**DECHEMA**  
KORROSIONSZENTRUM

Erfahren Sie mehr über unsere Leistungen, Projekte und Referenzen unter [www.korrosionszentrum.de](http://www.korrosionszentrum.de)





**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

5

Interdisziplinäres  
Forschungsfeld über  
5 DFI-Arbeitsgruppen  
(Korrosion, Hoch-  
temperaturwerkstoffe,  
Industrielle Biotechno-  
logie, Elektrochemie,  
Technische Chemie)

# Funktionale Oberflächen



Die Oberfläche eines Materials ist besonderen Belastungen ausgesetzt. Neben ihrer Verbesserung und Anpassung können mit Hilfe der Oberflächentechnik auch unterschiedliche Funktionalitäten eingestellt werden.

Dabei werden nicht nur Abscheidungs- oder Beschichtungstechniken, sondern auch jede Art physikalischer oder chemischer Modifikationstechniken betrachtet. Die Optimierung der Oberfläche kann damit auch die Energiewende unterstützen, um Energie und Ressourcen einzusparen. Zudem können moderne Beschichtungen die Energieeffizienz steigern. Das führt gleichzeitig dazu, dass die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten und Prozessen erhöht werden kann.

Am DFI werden verschiedene Technologien zur Oberflächenmodifizierung und -behandlung eingesetzt. Dabei umfasst das Angebot

Lösungen, die mit der Entwicklung von Beschichtungen im Labormaßstab beginnen und mit der Beratung zur Industrialisierung des Prozesses und/oder Produkts beim Kunden enden.

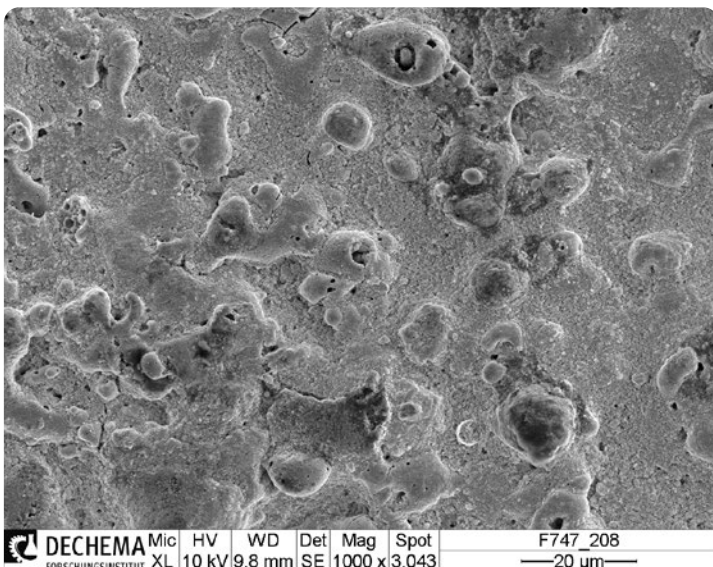
Mit der Physikalischen Gasphasenabscheidung steht eine Beschichtungstechnologie zur Verfügung, die in der Dampfphase (PVD: Physical Vapour Deposition) Materialien mit einer Dicke von nur wenigen Mikrometern oder Nanometern zusätzliche Eigenschaften verleihen kann. Diese PVD-Prozesse sind sauber und nachhaltig. Durch das Sputtern verschiedener Metalle (mit oder ohne Gegenwart reaktiver Gase) können Materialien funktionelle oder dekorative Eigenschaften erhalten. Am DFI werden Beschichtungen und Verfahren für verschiedene Anwendungen wie Tribologie, oder Photokatalyse entwickelt.

Die Sol-Gel-Technologie wird am Institut als eine vielseitige Synthesetechnik für die Herstellung von Keramik- und Glaswerkstoffen eingesetzt. Wir nutzen diese Technik für die Synthese von Nanopartikeln, für die anorganische Verkapselung von Werkstoffen

und für die Entwicklung von multifunktionellen Oberflächen. Durch Verwendung dieser Technologie werden keramische Materialien auf der Basis von anorganischen Oxiden erhalten. Durch Applikation mittels Sprüh- oder Tauchbeschichtungsprozessen können gezielt Oberflächen behandelt und funktionalisiert werden (z.B. selbstreinigende Eigenschaften, d.h. superhydrophob oder superhydrophil, antibakteriell, photokatalytische Schichten).

Das Verfahren der plasma-elektrolytischen Oxidation kann beispielsweise die Energieeffizienz und die Lebensdauer eines Produktes erhöhen. Bei diesem elektrochemischen Prozess werden Plasmaentladungen an der Werkstück-Elektrolyt-Grenzfläche erzeugt. Die Substratoberfläche wird in eine harte und dichte keramische Oxidschicht umgewandelt. Insbesondere für die Behandlung von Al-, Mg- und Ti-Legierungen stellt die Plasmaelektrolytische Oxidation einen innovativen Bereich der Oberflächentechnik dar. Das Verfahren ermöglicht es funktionale Schichten mit verbesserter Korrosionsbeständigkeit, Schmier- und Verschleißigenschaften, Bioaktivität oder photokatalytischen Eigenschaften zu erzeugen.

Durch die Slurry- und Packzementierung werden Diffusionsschutzschichten für metallische Werkstoffe entwickelt, die auch bei hohen Temperaturen exzellente Korrosionsbeständigkeiten aufweisen. Um das Grundmaterial bei hohen Temperaturen zu schützen, wird die Werkstoffoberfläche mit Elementen wie beispielsweise Aluminium angereichert und modifiziert. Mit Blick auf die Energiewende ist die Entwicklung funktionaler Hochtemperaturschutzschichten zu nennen: Innovative Wärmedämmschichtkonzepte oder Beschichtungen für solarthermische Kollektoren führen zur Leistungssteigerung von Stromerzeugungsanlagen. Hier werden selektive Beschichtungen auf Stahlrohren mit hohem Absorptionsvermögen und niedrigem Emissionsvermögen entwickelt.



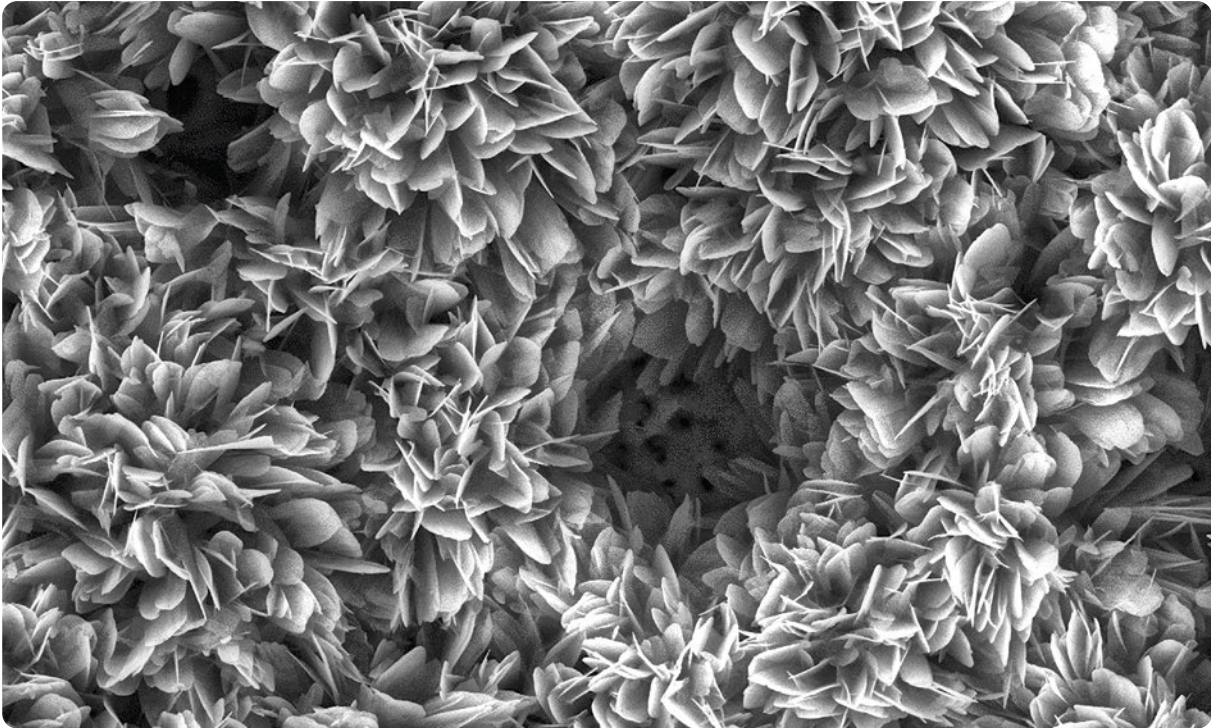
**IHR ANSPRECHPARTNER  
FÜR FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN**



**Dr. Stephan Lederer**

+49 (0) 69 7564 674

stephan.lederer@dechema.de



#### BEST PRACTISE

### *CP-Titan 4+: Entwicklung bioaktiver Titanoxid-Beschichtungen auf Titanwerkstoffen mittels plasma-elektrolytischer Oxidation*

*Die kristalline Struktur der auf dem Titan abgesetzten Biomaterialien begünstigt das Anwachsen von Knochenzellen*

*Das Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung von bioaktiven, Hydroxylapatit enthaltenden Titandioxid-Beschichtungen auf neuartigen Titanlegierung für die Osteosynthese und Implantattechnik. Hierbei wird durch den Prozess der plasma-elektrolytischen Oxidation die metallische Werkstoffoberfläche in eine keramische Schicht gewandelt. Analog dem Anodisieren wird dabei eine elektrische Spannung an das als Pluspol geschaltete Implantat angelegt. Durch das*

*Überschreiten der sogenannten Durchbruchfeldstärke kommt es zur Ausbildung von Lichtbögen. Dabei läuft eine Plasmareaktion im Entladungskanal der ausgebildeten Oxidschicht ab, was zu einem lokalen Aufschmelzen des Materials sowie dem Einbau ionischer Bestandteile aus der wässrigen Lösung ins Innere der Beschichtung führt. Bei der raschen Erstarrung bildet sich eine verdickte Oxidschicht aus, die das Implantat effektiv vor Korrosion und Verschleiß schützt. Durch das Anodisieren in Calcium- und Phosphor-enthaltenden Elektrolyten können auch Hydroxylapatit-haltige Schichten erzeugt werden, welche die Bioaktivität erhöhen und damit das Anwachsen des Implantats an den Knochen verbessern.*





## Unsere Leistungen

- › Entwicklung funktionaler Beschichtungen in den Bereichen:
  - Korrosions- und Verschleißschutz
  - Photokatalyse
  - Medizintechnik
  - Diffusionsschutzschichten für hohe Temperaturen
- › Technologien:
  - PVD (Sputtern)
  - Sol-Gel
  - (Plasma-)Anodisieren
  - Slurry- und Packzementierung
- › Schicht- und Oberflächencharakterisierung mit diversen Methoden



Erfahren Sie mehr über unsere Projekte,  
Publikationen und Veranstaltungen unter:  
[www.dechema-dfi.de/beschichtungstechnologien](http://www.dechema-dfi.de/beschichtungstechnologien)



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

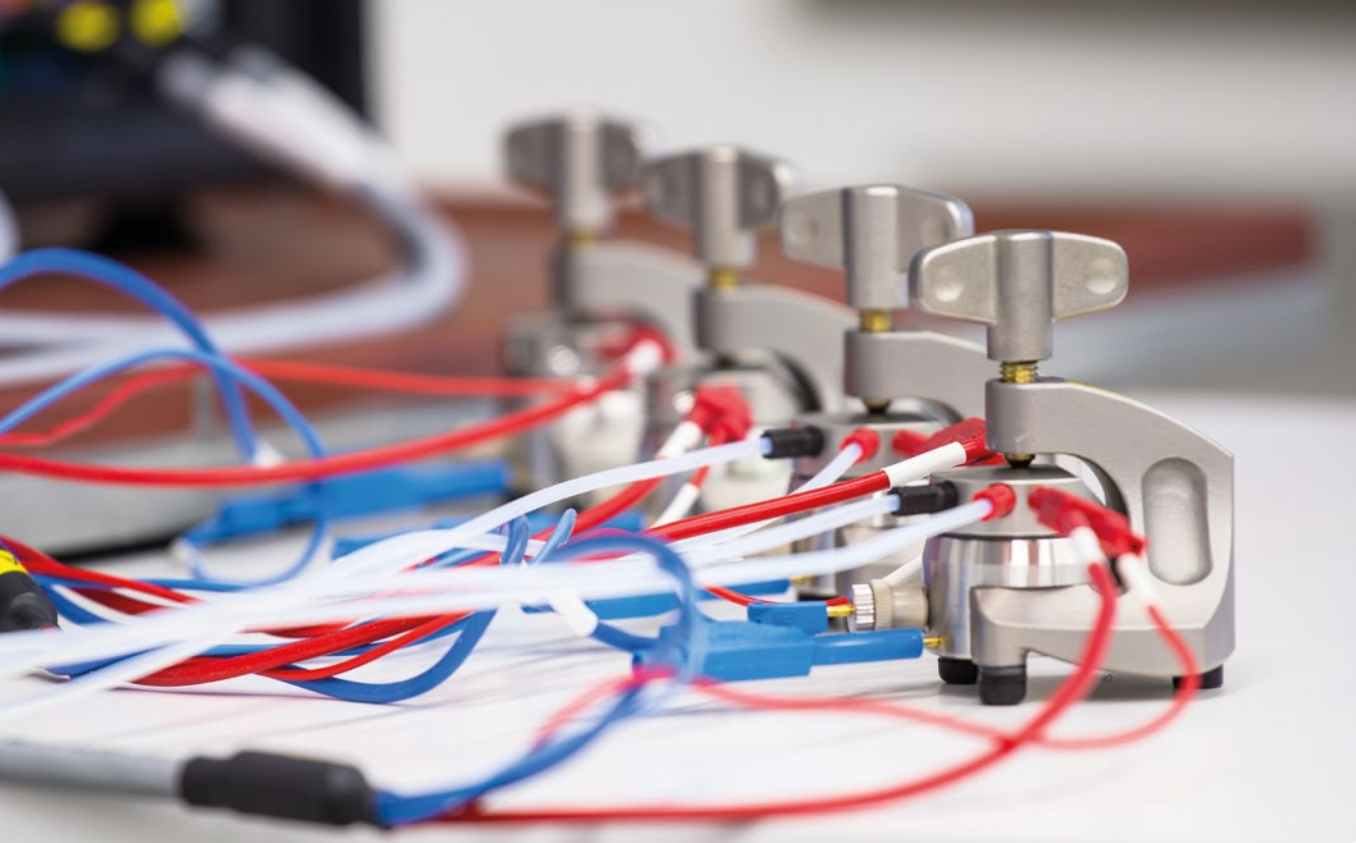
# 110

Mehr als  
110 Messkanäle  
für elektrochemische  
Messungen, Lade-  
und Entlade-Versuche  
und Polarisations-  
kurven am DFI



# Batterien und Brennstoffzellen





Unser Ziel für die Gesellschaft ist die nachhaltige Energieversorgung mittels erneuerbarer Energien. Dafür sind zukunftsfähige Batterien- und Brennstoffzellentechnologien für die Speicherung und Umwandlung erneuerbarer Energien nötig.

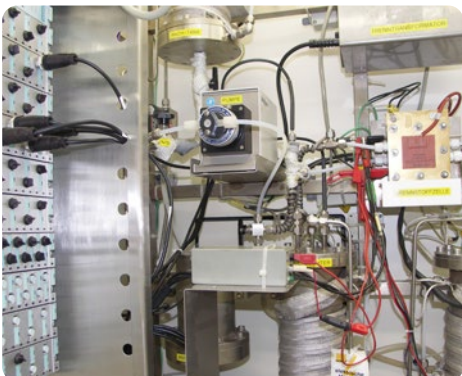


Im Bereich Solar- und Windstrom gewinnt aktuell die Redoxflow-Technologie zunehmend an Bedeutung. Aber auch der Einsatz von Elektrolyseuren trägt zur Erschließung neuer Rohstoffquellen z.B. auf CO<sub>2</sub>-Basis («Power-to-Fuel») bei.

Die Arbeitsgruppen Technische Chemie und Elektrochemie verfügen über langjährige Expertise im Bereich Batterien und Brennstoffzellen. Für die Bearbeitung von Industrieprojekten steht unseren Wissenschaftlern ein breites Angebot an Methoden zur Verfügung. Wir können unsere Partner von der Katalysator-Entwicklung bis zur Charakterisierung industrieller Batteriekomponenten begleiten. Dazu lassen sich am Institut beispielsweise Katalysatorsynthesen, Elektrodenbeschichtungen, elektrochemische Tests in Laborzellen und praxisnahe Tests in Batterie-testständen durchführen.

Zur Charakterisierung von Flow-Batterie-Komponenten (Elektroden, Membranen, Elektrolyte) stehen mehrere Labor-Teststände sowie ein kommerzieller Teststand zur Verfügung.

Die Alterung der Materialien wird in Langzeit-Tests untersucht. Zum Online-Monitoring des Ladezustandes wenden wir elektrochemische und spektroskopische Methoden an.



Einer der Messstände ermöglicht die Untersuchung der Aktivität und Selektivität von Pulvermaterialien in einem Glas- bzw. Edelstahlrohrreaktor bei bis zu 900 °C / 10 bar.

Zudem wird dort auch die Gasanalyse mit Gaschromatographie durchgeführt. Batterie-/Brennstoffzellen-Komponenten können unter Halbzellen- und Vollzellen-Bedingungen untersucht werden, und es werden zahlreiche elektrochemische Methoden, wie Zyklovoltammetrie und Impedanzspektroskopie, angewendet.

Maßgeschneiderte Edelmetall- und Oxid-Katalysatoren im Maßstab von einigen Gramm bis zu 100 Gramm lassen sich ebenfalls synthetisieren. Dazu werden unterschiedliche nasschemische Routen wie z.B. Sol/Gel, Imprägnierung/Reduktion und Hydrothermal eingesetzt und die hergestellten Katalysatoren umfassend charakterisiert. Es kommen verschiedene Beschichtungstechniken wie z.B. Siebdruck, Ultraschall-Sprühen, Doctor Blade und Kalandrieren zum Einsatz.

Die elektrochemische Umsetzung von Ausgangsstoffen mit Hilfe von Gasdiffusionselektroden (GDE) gewinnt vermehrt an Bedeutung. Als Beispiele sind die Wasserstoff-Oxidation in Brennstoffzellen sowie die Sauerstoff-Reduktion in Brennstoffzellen und Metall/Luft-Batterien zu nennen. Bei großtechnischen Verfahren wird die elektrochemische Stoffnutzung von CO<sub>2</sub> beispielsweise zur Herstellung von Methanol oder Synthesegas zukünftig eine Rolle spielen. Auf dem Gebiet der technischen Elektrolysen stellt die Entwicklung der Sauerstoffverzehr-Kathode eine wesentliche Innovation der Chloralkali-Elektrolyse dar.

#### IHRE ANSPRECHPARTNER FÜR BATTERIEN UND BRENNSTOFFZELLEN



**Dr.-Ing. Jean-François Drillet**

+49 (0) 69 7564 476

jean.drillet@dechema.de

› Batterien und Brennstoffzellen

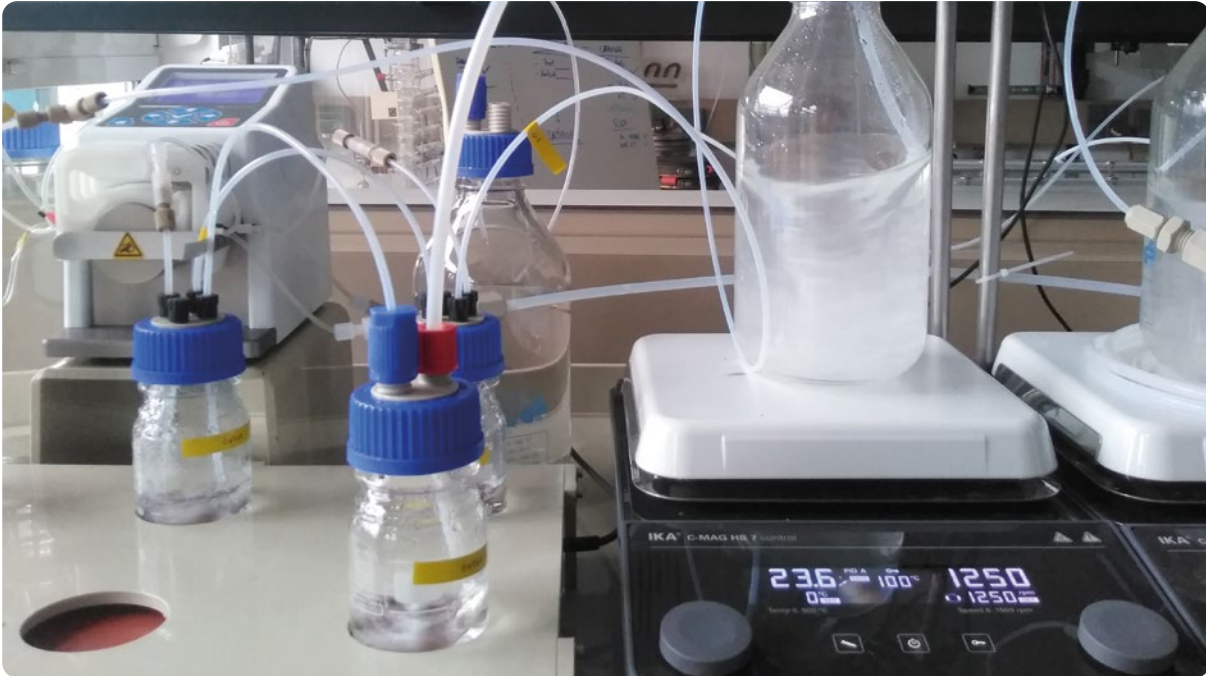


**Dr. Claudia Weidlich**

+49 (0) 69 756 633

claudia.weidlich@dechema.de

› Redox-Flow-Batterien



## BEST PRACTISE

### Herstellung von Pulvermaterialien mit einer hochflexiblen Satz- oder Konti-Anlage

*Laborvorrichtung  
zur kontinuierlichen  
hydrothermalen  
Synthese von MnO<sub>2</sub>-  
Pulvermaterial*

*Die am DFI konzipierte Anlage ist für die satzweise oder kontinuierliche Herstellung kleiner Mengen (1 – 100 g) von Pulvermaterialien aus einer Gas-/Flüssig-Phase bei bis zu ca. 150 °C/5 bar ausgelegt. Je nach Anwendung ist bei sehr gut reproduzierbaren Synthesen eine Steigerung der Produktion durch Anpassung der Reaktor-/Gefäßgrößen auf bis zu 250 g pro Woche realisierbar. Da die aktiven und passiven Komponenten der Reaktor-anordnung sehr flexibel sind, ist die Anlage auch für kurze Experimente mit teuren Ausgangschemikalien bzw. kleinen Satz-mengen (0,1 – 1 g) hervorragend geeignet.*

*Derzeit verfügt die Anlage über vier Upstream-Stränge, einen Reaktions-sowie einen Downstream-Bereich mit Trennung und Aufreinigung der Produkte (siehe Bild oben). Prozessparameter wie Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, sowie Druck werden online erfasst. Ergänzend kann eine CCD-Kamera zur Langzeit-*

*überwachung der Gefäßinhalte installiert und damit wertvolle Informationen über die einzelnen Reaktionsabläufe gewonnen werden. Neben der hydrothermalen Betriebsweise kann optional noch ein Mikrowellen-Gerät in den Prozesskreislauf integriert und die Raum-Zeit-Ausbeute entsprechend gesteigert werden. Hierbei können lokal deutlich höhere Temperaturen erreicht werden. Eine elektronische Steuerung sorgt bei Über- bzw. Unterschreitung festgelegter Grenzparameter für einen geregelten Prozess-Stopp.*

*Eine Erweiterung der Anlage zur Rückführung und Wiederverwertung kritischer Lösungsmittel und prozessrelevanter Reaktionskomponenten ist eingesetzt. Die Anlage wurde bereits für die Herstellung von Manganoxid-Interkalationsmaterialien erfolgreich in Betrieb genommen. Anschließend kann das Pulvermaterial bei Bedarf auf chemische und physikalische Eigenschaften durch z.B. TEM, REM/EDX, BET, XRD, TGA, Raman Spektroskopie und ICP MS charakterisiert werden.*

## Unsere Leistungen

Vom Partikel bis zur Zelle

- › Pulversynthese von Edelmetall- und Oxid-Katalysatoren
- › Physikochemische Charakterisierung
- › Elektrodenbeschichtung
- › Test von Elektrodenmaterialien in PEM-, DMFC-, SOFC- und SOEC-Messständen
- › Test von Pulvermaterialien im Glas- bzw. Edelstahlrohrreaktor bis zu 900 °C / 10 bar samt Gasanalyse mittels Gaschromatographie
- › Elektrochemische Charakterisierung von Flow-Batterie-Komponenten in Labor-Zellen und Testständen

Nasschemische Synthesen vom Batch- zum Kontibetrieb

- › Bestimmung der Kinetik nasschemischer Feststoffsynthesen
- › Einsatz einer hochflexiblen, kontinuierlichen Anlage mit angepasster Verweilzeitverteilung
- › Organische und wässrige Synthese von Feststoffen bei bis zu 150 °C und 5 bar
- › Optional mikrowellengestützte Synthesen
- › Produktion spezifischer Pulvermaterialien von bis zu 250 g pro Woche
- › Auslegung, Planung und Bau einer maßgeschneiderten Anlage im Labormaßstab



Erfahren Sie mehr über unsere Projekte,  
Publikationen und Veranstaltungen unter:  
[www.dechema-dfi.de/batterienbrennstoffzellen](http://www.dechema-dfi.de/batterienbrennstoffzellen)



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

# 50

Über 50 Jahre  
Forschungs-  
erfahrung  
in elektro-  
chemischen  
Prozessen  
und Analytik





22:23



# Elektrochemie

Chl  
Anolyt



Das Ziel: eine CO<sub>2</sub> neutrale chemische Produktion bis zum Jahr 2050. Ein wichtiges Werkzeug auf diesem Weg: die Elektrochemie. Dabei kann die Elektrochemie bei einer Vielzahl von Prozessen ihren Beitrag leisten: zum Beispiel bei der Entwicklung von Energiespeichern, der Wasseraufbereitung und alternativen Syntheserouten.



Welche Gemeinsamkeit haben verunreinigtes Wasser, Karosserien und Kunststoffe? Die Elektrochemie. Mit Hilfe elektrochemischer Verfahren können sowohl persistente Stoffe als auch Rückstände im Spurenstoffbereich aus industriellen Prozess- und Abwässern entfernt werden. Dadurch kann die Wiederverwertung von Prozesswässern erhöht und Stoffkreisläufe effektiver geschlossen werden. Beim Korrosionsschutz werden die Oberflächen von Karosserieteilen in vielen Fällen durch Elektrotacklackierung, also elektrochemisch, verzinkt. Viele Kunststoffe, wie beispielsweise PVC, benötigen im Herstellungsprozess Chlor, das elektrochemisch hergestellt wird. Dies sind nur drei Beispiele für eine Vielzahl von elektrochemischen Anwendungen.

In der Arbeitsgruppe Elektrochemie des DFI arbeiten Chemiker und Ingenieure verschiedener Fachrichtungen an gemeinsamen Lösungen für diese Herausforderungen. Unser engagiertes und interdisziplinär agierendes Team bildet die Basis für erfolgreiche Kooperationen mit Partnern aus der Industrie.

## Unsere Schwerpunkte

- › **Elektrochemische Wasserbehandlung**  
Aufbereitung industrieller Prozessabwässer, Abbau von Spurenstoffen, Abwasserreinigung, Entsalzung, Enthärtung
- › **Molekulare Elektrochemie**  
Elektroorganische Synthese, mikrobielle Elektrosynthese
- › **Elektrochemische Energiespeicher**  
Redox-Flow-Batterien
- › **Stetiger Wissenstransfer**  
Weiterbildungskurse, teilweise mit Praktikum, zum Thema Elektrochemie. Alternativ können auch In-house-Schulungen, zugeschnitten auf die speziellen Erfordernisse Ihres Unternehmens, durchgeführt werden.

## IHRE ANSPRECHPARTNER FÜR ELEKTROCHEMIE



**Dr. Klaus-Michael Mangold**

+49 (0) 69 7564 327

klaus-michael.mangold@dechema.de



**Dr. Markus Stöckl**

+49 (0) 69 7564 642

markus.stoeckl@dechema.de



## BEST PRACTISE

# Elektrochemisches Monitoring des Ladungszustands von Vanadium-Flow-Batterien

*Online Monitoring des Ladungszustandes einer Vanadium-Flow-Batterie im Teststand*

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

*Die Arbeitsgruppe Elektrochemie erforscht neben innovativen alternativen Flow-Batterie-Systemen auch die in der Anwendung verbreiteten Vanadium-Flow-Batterien.*

*Zur Steigerung der Effizienz dieser Batterien und der Erhöhung ihrer Lebensdauer ist ein einfaches und verlässliches Ladungszustandsmonitoring notwendig. Dieses Monitoring sollte auch Aussagen über den Crossover, d.h. den Durchtritt von Elektrolytbestandteilen durch die Membran von einer Batteriehalbzelle in die andere,*

*ermöglichen. Zur Entwicklung eines geeigneten und preisgünstigen Ladungszustandsmonitorings werden an Labortestständen die Vanadium-Elektrolyte der positiven und negativen Batterie-Halbzelle während der Lade- und Entladevorgänge mit Redoxpotentialmessungen untersucht. Dazu werden in der Werkstatt des DFI maßgeschneiderte Durchflusszellen angefertigt und in den Labortestständen eingesetzt.*

*Zusätzlich werden die Lade- und Entladevorgänge online mit UV-Vis-Spektroskopie und Dichtemessungen verfolgt. Diese Methoden können ebenfalls in die Teststände integriert werden und ermöglichen so einen Abgleich der Methoden und die Kalibrierung der Potentialmessungen. Mit Hilfe dieser Untersuchungen sollen Crossover-Prozesse im Elektrolyten frühzeitig identifiziert und auch Vorhersagen über die Lebensdauer der Batterie ermöglicht werden.*

## Unsere Leistungen

- › Wasserbehandlung
- › Elektrosynthese
- › Redox-Flow-Batterien
- › Elektrochemische Prozesse
- › Elektroanalytische Untersuchungen
- › Methodenentwicklung
- › Reaktorentwicklung und Zelldesign
- › Elektrodenentwicklung



Erfahren Sie mehr über unsere Projekte,  
Publikationen und Veranstaltungen unter:  
[www.dechema-dfi.de/elektrochemie](http://www.dechema-dfi.de/elektrochemie)



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

**17**

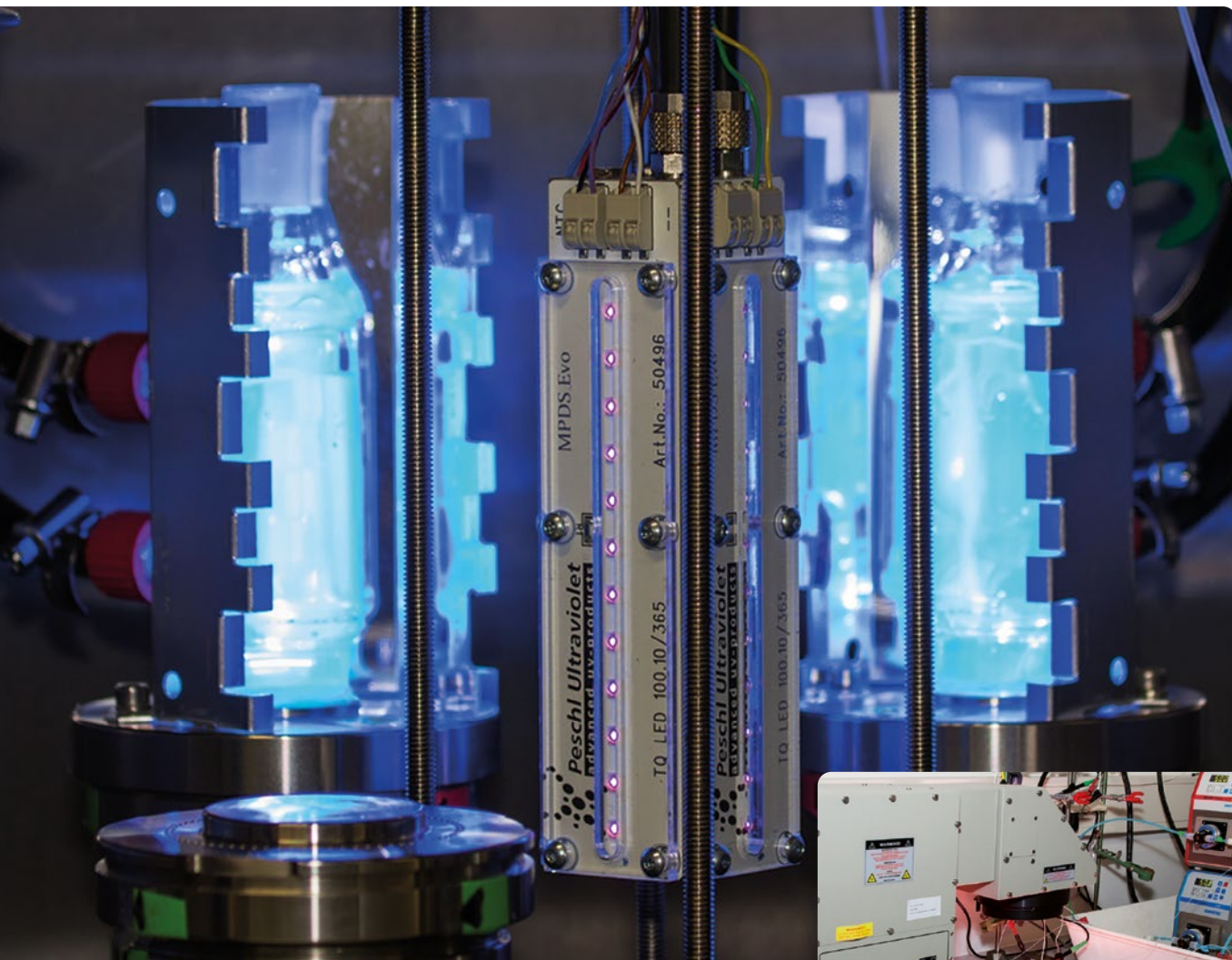
17 Liter ist der Maßstab, mit dem Photo-reaktionen mit fast homogener Beleuchtung am DFI durchgeführt werden können



28:29

# Photokatalyse





Die chemische Industrie sieht sich zurzeit mehreren Herausforderungen gegenüber: Einerseits steht sie bedingt durch den internationalen Wettbewerb unter hohem Kostendruck, andererseits muss sie nachhaltige Prozesse etablieren, um ihre Innovationsfähigkeit zu erhalten und diese weiter auszubauen. Für diese Problemstellungen hält die Photokatalyse passende Lösungen parat.



Durch die Nutzung von Licht als Energiequelle chemischer Reaktionen ermöglicht die Photokatalyse eine Grundlage für nachhaltige und umweltfreundliche chemische Prozesse. Die wohl bekannteste Anwendung nutzt die starke Oxidationskraft von Photokatalysatoren wie Titandioxid zur Entfernung von unerwünschten Schadstoffen aus der Luft, dem Wasser oder von Oberflächen. Aber auch in der chemischen Synthese haben photokatalytische Prozesse an Popularität gewonnen. Durch die hohen erreichten Redoxpotentiale angeregter Photokatalysatoren können oft sehr elegante Reaktionen wie direkte Bindungsknüpfungen ohne vorherige Aktivierung der Substrate ermöglicht werden.

Aufgrund der milden Reaktionsbedingungen eignen sich photokatalytische Reaktionen insbesondere für empfindliche komplexe Moleküle, etwa im Bereich der Spezial- und Pharmachemie. Die Erzeugung von Photonen kann durch regenerativ erzeugten Strom emissionsfrei und durch die LED-Technik sehr effizient realisiert werden. Das erhöht die Ressourceneffizienz, minimiert Kosten und reduziert Nebenprodukte. Außerdem erhöht sich auch die Prozesssicherheit, da die Reaktion durch Abschalten der Lichtquelle sofort unterbrochen werden kann. Dabei ermöglicht die einzigartige Reaktivität häufig völlig neue und effizientere Synthesewege. Kein Wunder, dass die Photokatalyse als Werkzeug innerhalb der chemischen Synthese in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen hat.

Unsere Wissenschaftler begleiten Sie im Forschungsgebiet Photokatalyse sowohl bei grundlegenden Untersuchungen und Machbarkeitsstudien zu neuen Reaktionswegen als auch bei der Entwicklung, Optimierung und Skalierung von technischen Prozessen. Insbesondere Letzteres ist aufgrund der geringen Eindringtiefe des Lichtes eine der größten Herausforderungen der Photokatalyse.

Wir legen besonderen Wert auf eine ganzheitliche Betrachtung des Prozesses und unterstützen Sie bei der Auswahl, Charakterisierung und Entwicklung von geeigneten und aufeinander abgestimmten Lichtquellen, Photokatalysatoren, Reaktoren und optimalen Prozessparametern.

Das DFI kann hier als eine von wenigen Forschungseinrichtungen auf langjährige Erfahrungen zurückblicken und innovative Lösungsansätze anbieten. Dabei stehen Ihnen unsere erfahrenen Wissenschaftler und eine moderne instrumentelle Ausstattung zur Verfügung.

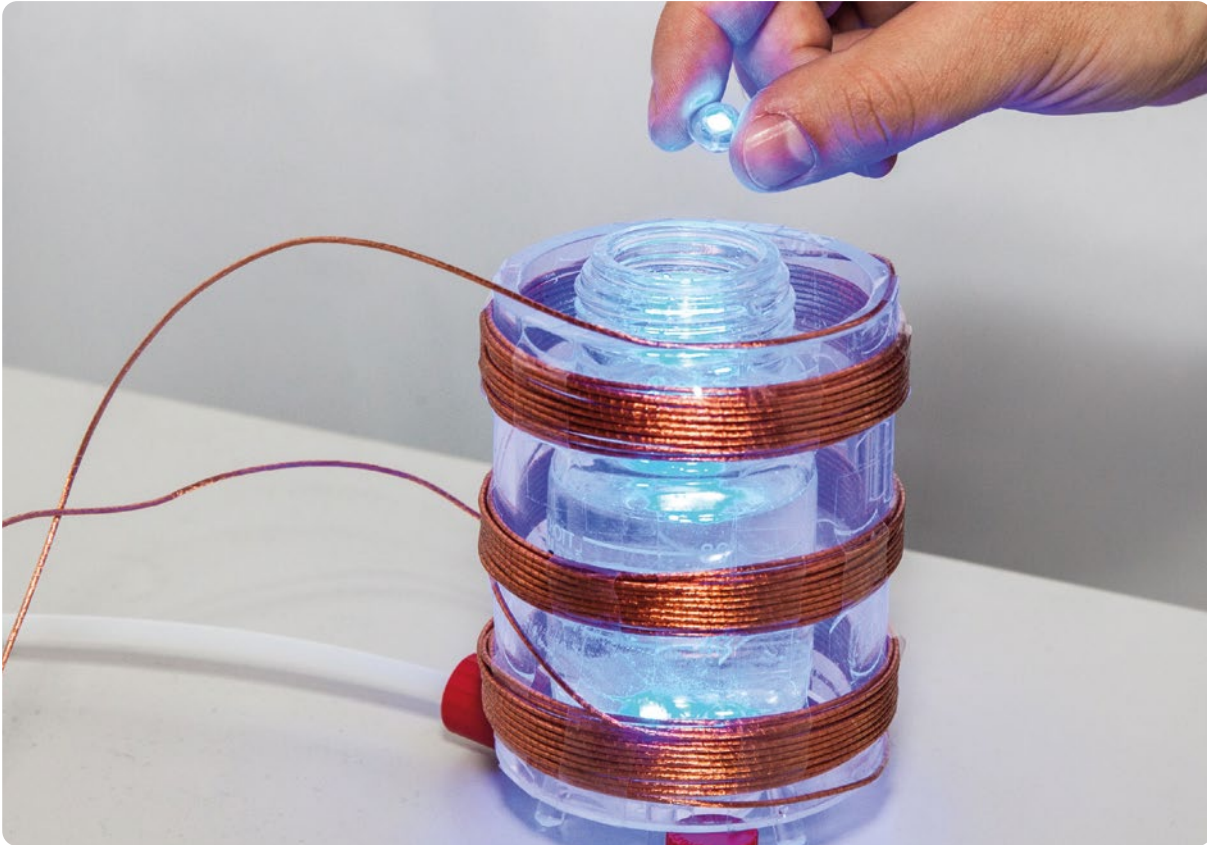
#### IHR ANSPRECHPARTNER FÜR PHOTOKATALYSE



**Dr. Jonathan Bloh**

+49 (0) 69 7564 387

[jonathan.bloh@dechema.de](mailto:jonathan.bloh@dechema.de)



## BEST PRACTISE

### *Skalierung von photokatalytischen Reaktionen mittels induktiv angetriebener Lichtemitter*

*Drahtlose Lichtemitter ermöglichen eine gleichmäßigere interne Ausleuchtung des Reaktors*

*Lichtabhängige Prozesse sind limitiert durch die geringe Eindringtiefe des Lichts, welche häufig nur wenige Millimeter beträgt. Dadurch ist die Skalierung dieser Reaktionen zu größeren Volumen sehr schwierig. Insbesondere bei Beleuchtung von außerhalb sinkt die Effizienz deutlich, da nur ein kleiner Teil des Reaktionsmediums beleuchtet wird.*

*Mittels interner Beleuchtung mit drahtlos angetriebenen Lichtemittern kann jedoch auch in großvolumigen Reaktoren eine relativ homogene Ausleuchtung erreicht werden. Dabei kann die von Handyladegeräten bekannte resonanzgekoppelte Induktion genutzt werden, um die im Reaktionsmedium frei beweglichen Lichtemitter kontaktlos von außerhalb anzutreiben.*

*Die einzige notwendige Modifikation des Reaktors ist das Anbringen der Induktionsspulen auf der Außenwand. So können auch klassischen Reaktortypen wie Rührreaktoren ohne aufwändige Umrüstung für die effiziente Durchführung von photokatalytischen Reaktionen genutzt werden.*

*Je nach Zielreaktion können die Lichtemitter zusätzlich auch direkt mit dem Photokatalysator beschichtet werden, was das Handling des Katalysator deutlich vereinfacht und eine Abtrennung und Wiederverwertung trivial gestaltet. Derartige integrierte Photokatalysator-Lichtemitter-Einheiten können wie klassische geträgerte heterogene Katalysatoren beispielsweise in Festbettschüttungen oder Wirbelbettreaktoren eingesetzt werden.*

## Unsere Leistungen

- › Studien zur Machbarkeit von neuen photokatalytischen Reaktionen
- › Beratung bei der Skalierung von photokatalytischen Prozessen und Entwicklung entsprechender maßgeschneiderter Lösungen
- › Auswahl, Charakterisierung und Entwicklung von geeigneten und aufeinander abgestimmten Lichtquellen, Photokatalysatoren, Reaktoren und optimalen Prozessparametern
- › Ganzheitliche Prozessbetrachtung, Optimierung und Beratung
- › Untersuchung der oxidativen Eigenschaften von Photokatalysatoren zum Abbau von unerwünschten Verbindungen
- › Entwicklung neuer effizienterer und selektiverer Photokatalysatoren und verbesserter Beschichtungstechniken
- › Integration der Photokatalyse in chemische, elektrochemische und biochemische Prozesse



Erfahren Sie mehr über unsere Projekte,  
Publikationen und Veranstaltungen unter:  
[www.dechema-dfi.de/photokatalyse](http://www.dechema-dfi.de/photokatalyse)



DEHEMA  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

10

Entdeckung von mehr  
als 10 neuen  $C_6$ ,  $C_7$ ,  
 $C_8$ -Bausteinen für  
Terpene, bisher waren  
nur zwei  $C_5$ -Grund-  
bausteine bekannt

# Industrielle Biotechnologie





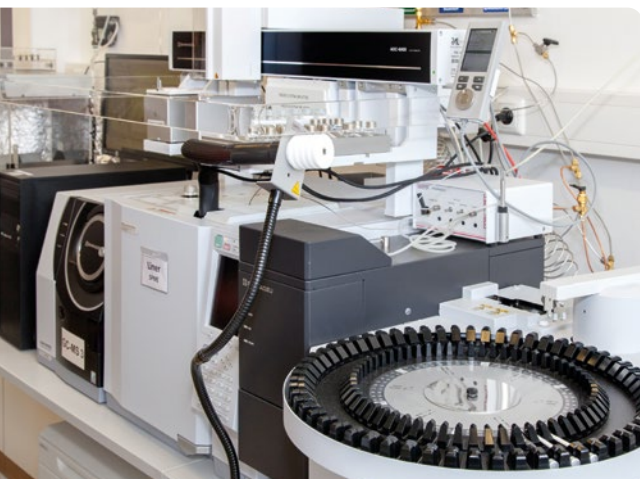
Biotechnologische Verfahren kommen in den unterschiedlichsten Industriezweigen in immer stärkerem Maß zum Einsatz. Sie ermöglichen zum Beispiel die Herstellung von »natürlichen« Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen, die Realisierung sehr komplexer Synthesen und in vielen Fällen deutlich nachhaltigere Prozesse.

Die Arbeitsgruppe »Industrielle Biotechnologie« ist mit einem interdisziplinären Team aus Biotechnologen, Biologen und Ingenieuren darauf spezialisiert, die notwendigen Module für biotechnologische Synthesen zu identifizieren, zu optimieren und anwendungsreife Prozesse zu entwickeln.

In modern ausgestatteten S1- und S2-Laboren bietet sie das gesamte Spektrum mikro- und molekularbiologischer sowie analytischer und bioprozesstechnischer Dienstleistungen an.

Für mikrobiologische Versuchsreihen werden Kultivierungssysteme von Mikrotiterplattenformaten bis zu 4 L Labor-Bioreaktoren mit jeweils verschiedensten online-Parametermessungen eingesetzt. Für die Herstellung von Enzymen kommen standardmäßig *E. coli*, *S. cerevisiae*, *P. pastoris* und *A. niger* zum Einsatz.

Für analytische Fragestellungen stehen neben allen photometrischen Messverfahren Hochdurchsatz-geeignete HPLC-Systeme (UV/VIS, RID, ELSD, MS-MS) sowie GC-Systeme (FID, MS) zur Verfügung. Für die ultrasensitive Bestimmung volatiler Substanzen in flüssigen oder festen Proben verwenden wir Headspace-Verfahren oder SPME/SSBE in Verbindung mit Thermodesorption.



Bei der Optimierung von effizienten und robusten enzymatischen und mikrobiellen Produktionsprozessen kommt die jahrzehntelange bioprozesstechnische Erfahrung unserer Wissenschaftler der Arbeitsgruppe zum Tragen. Mit unterschiedlichsten Vorgehensweisen verbessern wir nach den Vorgaben des Auftraggebers Raum-Zeit-Ausbeuten, Katalysatorstabilität oder andere Parameter.

Die Herstellung von Produktmustern ist ein besonderes Angebot an Unternehmen, die für Tests die Zielsubstanzen eines Prozesses in Mengen von 1 – 100 g benötigen. Durch die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe »Technische Chemie« können biotechnologisch oder bio-chemo-katalytisch synthetisierte Substanzen in hoher Reinheit dargestellt werden. Speziell für Kunden aus dem Bereich Aromastoffe sind langjährige Expertise sowie spezielle Werkzeuge wie z.B. Mikroorganismen-Stämme mit reduzierter Bildung endogener Riechstoffe oder ein olfaktorischer GC-MS-Port vorhanden.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bietet die Arbeitsgruppe insbesondere für die Spezialgebiete an, in denen durch langjährige Forschungsarbeiten proprietäres Wissen und Expertise bestehen.

Für die Identifizierung von bisher nicht bekannten Enzymen und ganzen Biosynthesewegen werden unterschiedlichste Strategien verwendet. Neben vergleichenden Sequenz-, Operon- oder Genom-/Transkriptom-Analysen sowie Protein Engineering-Ansätzen kommen spezifische Screening-/Selektions-Techniken oder Biosensor-/FACS-Entwicklungen zum Einsatz.

Im Bereich der enzymatischen und mikrobiellen Biotransformation nutzen wir das vielfältige Katalyse-Portfolio der Natur – zum Beispiel, um stereo- und regioselektive Oxidations- oder Alkylierungs-Reaktionen zu realisieren. Effiziente und robuste Produktionsstämme konstruieren und optimieren wir nach Vorgabe der Zielparame-ter. Wir entwickeln maßgeschneiderte Lösungen auch unter der Vorgabe der Deklaration des Produkts als »natürlich« oder »Gentechnik-frei«.

Für die Entwicklung neuer Produktionsrouten nutzen wir sowohl etablierte Rohstoffe (z.B. Glukose) als auch alternative Substrate (z.B. Methanol, CO<sub>2</sub>). Unser interdisziplinäres Team aus Biotechnologen, Ingenieuren und Biologen nimmt sich gerne Ihren Herausforderungen an und gibt realistische Einschätzungen über die Potentiale der Entwicklung von maßgeschneiderten Enzymen und biotechnologischen Synthesen.

## IHRE ANSPRECHPARTNER FÜR INDUSTRIELLE BIOTECHNOLOGIE



**Dr. Markus Buchhaupt**

+49 (0) 69 7564 629

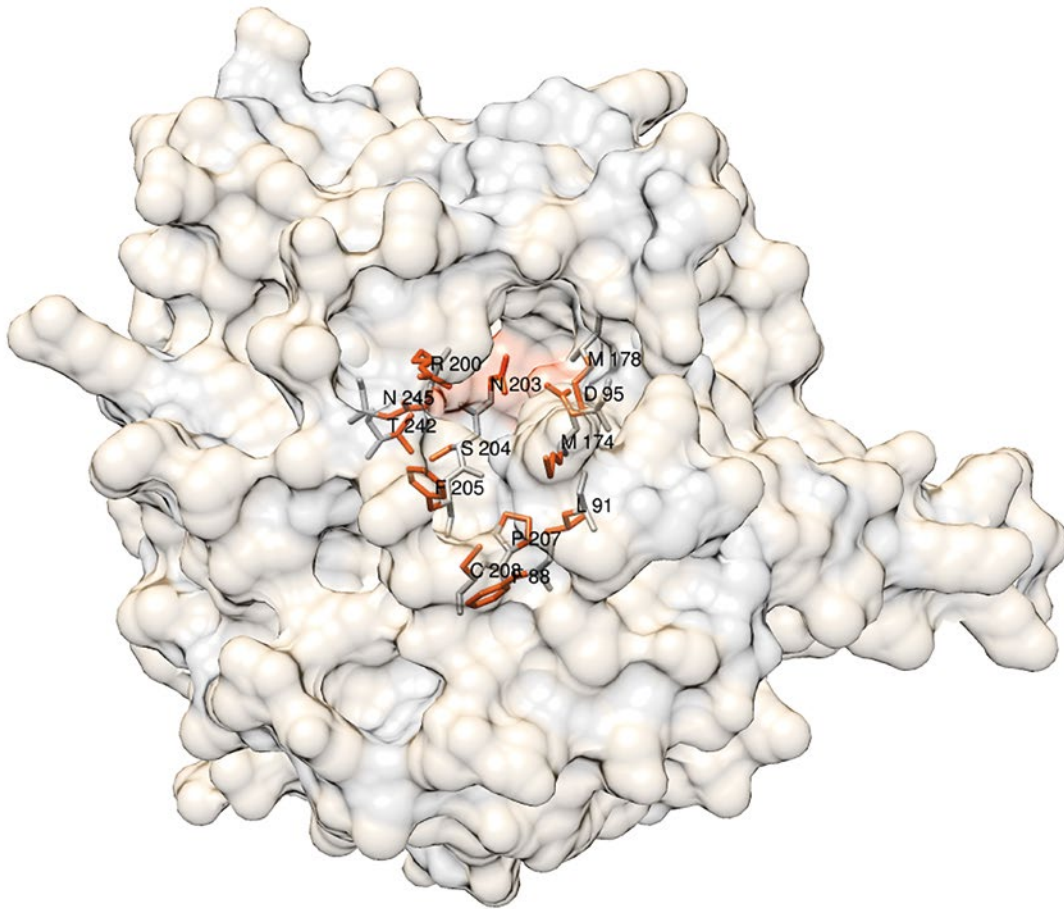
markus.buchhaupt@dechema.de



**Prof. Dr. Jens Schrader**

+49 (0) 69 7564 422

jens.schrader@dechema.de



## BEST PRACTISE

### Suche nach maßgeschneiderten Enzymen

*Modellstruktur einer Terpen-Synthase, deren Produktspektrum durch Veränderungen der hier hervorgehobenen Substratbindetasche vielfältig modifiziert werden kann*

Die Verfügbarkeit einer spezifischen enzymatischen Aktivität ist oft das entscheidende Puzzlestück für die Realisierung neuer biotechnologischer Verfahren. Insbesondere bei der Etablierung von Synthesewegen für Aromastoffe, pharmazeutische Wirkstoffe oder andere Feinchemikalien sind Biokatalysatoren mit hoher Geschwindigkeit, hoher Selektivität und hoher Stabilität essentiell. Im DFI werden die für den Prozess des Auftraggebers notwendigen Enzyme mit verschiedensten Methoden aufgespürt und eingehend charakterisiert. Dabei kommen hauptsächlich Screening- und Selektionstechniken zum Einsatz, die durch Strukturmodell-Analysen unterstützt werden.

Speziell in den Biosynthesewegen für Terpene besitzen einige der beteiligten Proteine keine natürlicherweise ausgeprägte Produktspezifität. Diese Multi-

Produkt-Charakteristik, die durch Carbokationen-Intermediate bedingt ist, lässt sich allerdings nutzen, um durch Protein-Engineering Varianten mit z.B. neuartigen Produktspektren oder einer hohen Spezifität für ein bestimmtes Produkt zu entwickeln. Die am DFI inzwischen vorhandene Toolbox für Terpen-Modifikationen erlaubt zudem das Einfügen von Methylgruppen oder auch Hydroxygruppen an vom Kunden gewünschten Positionen. Ist noch kein Enzym mit der notwendigen Regio- oder Stereoselektivität bekannt, kann mit etablierten Techniken und hoher Erfolgsquote nach entsprechend maßgeschneiderten Enzymen gesucht werden. Im Bereich der Terpene, aber auch anderer Strukturen kann auf diese Weise die Synthese der Zielprodukte und einer hohen Zahl möglicher Derivate mit leicht veränderten Eigenschaften realisiert werden.



## Unsere Leistungen

- › Herstellung von Produktmustern (z.B. Riech- und Aromastoffe)
- › Stammdesign und Bioprozessentwicklung
- › Identifizierung und Entwicklung maßgeschneiderter Enzyme
- › Effiziente Syntheserouten durch Kombination von Bio-, Chemo- und Elektrokatalyse in Zusammenarbeit mit den Gruppen Technische Chemie und Elektrochemie



Erfahren Sie mehr über unsere Projekte,  
Publikationen und Veranstaltungen unter:  
[www.dechema-dfi.de/ibt](http://www.dechema-dfi.de/ibt)



**DECHEMA**  
FORSCHUNGSINSTITUT

IN ZAHLEN

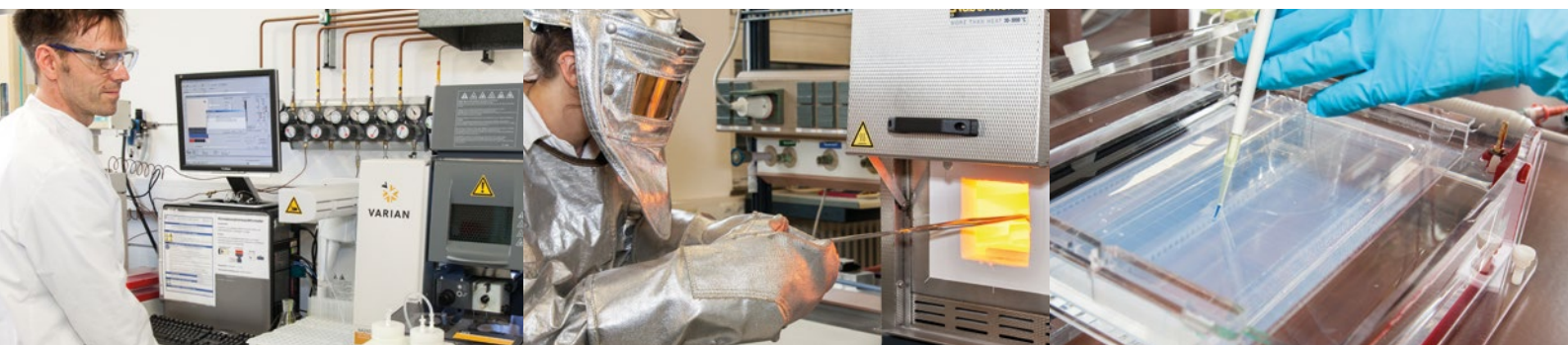
3

Das neue SU5000 REM  
erreicht eine Auflösung  
von bis zu 3 nm in  
Sekundärelektronen-  
bildern





# Technische Ausstattung



## Werkstoff- und Oberflächencharakterisierung

- › Rasterelektronenmikroskope mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX), Elektronenrückstreubeugung (EBSD), Rastertransmissionsdetektor (STEM) und Heizmodul für in-situ Hochtemperaturmessungen
- › Elektronenstrahlmikrosonde (ESMA) mit wellenlängendispersiver Röntgenanalyse (WDX)
- › Röntgendiffraktometer (XRD) mit Göbelspiegel und in-situ Hochtemperaturanalyse
- › Rasterkraftmikroskop (AFM) mit Zusätzen für in-situ AFM, Kelvinsondenkraftmikroskopie und SECPM
- › Konfokales Raman-Mikroskop mit der Möglichkeit zur in situ Spektroskopie
- › Fluoreszenzmikroskop
- › Konfokales Laser Scanning Mikroskop (CLSM)
- › Klassische und Interferenzschichten-Metallographie
- › Funkenemissions-Spektrometer
- › Nano-Indenter
- › Kleinlasthärteprüfung
- › Dilatometer
- › Universalprüfmaschine bis 50 kN
- › 4-Punkt-Biege-Prüfstände (4 PB)
- › Schallemissionsanalyseanlagen (SEA)
- › Thermowaagen (TG)
- › Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) und Differenzthermoanalyse (DTA)
- › Isotherme und thermozyklische Hochtemperaturversuchsanlagen entsprechend den neuesten ISO-Normen
- › Kontaktwinkel-Messgerät für Raumtemperatur
- › Kontaktwinkel-Messgerät für hohe Temperatur (bis 1200 °C)
- › Linear Taber Abraser
- › Profilometer
- › (Hochtemperatur-)Tribometer, auch für Tribokorrosion
- › Salzsprühkammer

## Charakterisierung poröser Materialien und Katalysatoren

- › Kapillarfluss-Porometer
- › Gasphysisorption mit Stickstoff oder Krypton zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche und Porenverteilung
- › Dampfsorption zur Bestimmung der Wasseraufnahme und der Oberflächenpolarität

## Chemische Analytik und Reaktionstechnik

- › Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit verschiedenen Detektoren (Triple Quadrupol Massenspektrometer, Brechungsindexdetektor, Diodenarray-Detektor, Lichtstreuendetektor) mit Fraktionssammler für Sekundäranalytik oder semipräparative Ansätze
- › Gaschromatographie mit ECD/FID/WLD/MS-Kopplung, enantioselektive GC, Aufgabe flüssiger und gasförmiger Proben durch SPME- oder Headspaceanalytik, Thermodesorption, Mikro-GC, olfaktorische Detektion
- › Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), optional mit vorgeschalteter Ionenchromatographie
- › FT-IR-Spektroskopie
- › UV-Vis-NIR-Spektroskopie
- › UV-Vis-Fluoreszenz-Mikroplattenleser
- › Fluoreszenz-Mikroskopie
- › Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- › Ionenchromatographie (Anionen und Kationen)
- › Partikelgrößen- und Zetapotentialmessung durch dynamische Lichtstreuung (DLS)
- › Rheometer
- › Coulombmetrische Karl-Fischer-Titration
- › Bestimmung gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)
- › Autoklaven (-77 – 500 °C; 0 – 345 bar)
- › Photoreaktoren und Bestrahlungssetups mit Hochleistungs-LEDs sowie einen Sonnensimulator für photochemische und photokatalytische Reaktionen



- › Teststand zur Bestimmung der photokatalytischen Aktivität beim Abbau von Stickoxiden und Ozon gemäß ISO 22197-1, Zertifizierung der Aktivität gemäß der freiwilligen Selbstverpflichtung des Fachverbands angewandter Photokatalyse (FAP)

### Elektrochemische Methoden

- › Potentiostaten für hoch- und niederohmige Messsysteme
- › Stromdichte-Potential-Kurven
- › Cyclovoltammetrie (CV)
- › Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS)
- › Elektrochemische Quarzmikrowaage (EQCM)
- › Rotierende Ring-Scheiben-Elektrode (RRDE)
- › Spektroelektrochemie (UV-Vis-NIR)
- › Hochspannungs-/Hochstrom-Potentiostat zur Anodisation
- › Elektrodenteststand
- › Rasterkelvinsonde
- › Batterietestsysteme
- › Teststand für Redox-Flow-Batterien
- › Teststand für Gasdiffusionselektroden
- › Brennstoffzellen-Teststände für SOFC, DMFC und PEMFC

### Fertigungstechnische Methoden

- › Nd-YAG-Laser zur Mikrostrukturierung
- › CO<sub>2</sub>-Laser für präzise Zuschnitte von Bauteilen
- › Mechanische Präzisionsbearbeitungsmaschinen
- › Ein- und Vier-Quellen-Sputter-Anlagen
- › Sinteröfen
- › Induktionsheizer
- › IR-Strahler
- › Dip-Coater
- › Spin-Coater
- › Doctor-blade-Coater

- › Siebdruckanlage
- › Sprühanlage mit Ultraschall-Kopf
- › (Hochleistungs-)Ultraschallfinger
- › Laborheißpresse
- › Kalander
- › Kugelmühle
- › Glovebox
- › Vakuuminduktionsschmelzofen (bis 2000 °C)
- › Lichtbogenschmelzofen (bis 3000 °C)
- › Presseinheit für Knopfzellen (Coin Crimper)

### Biotechnologische Methoden

- › Gentechnik-Labore der Sicherheitsstufe S1 und S2
- › Vollausgestattete Laborbioreaktoren von 150 ml bis 4 l Volumen
- › Parallel-Laborbioreaktorsysteme mit automatischer Prozesssteuerung und Analytik (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, pH, Substrate/Produkte)
- › Mikrotiterplatten-Kultivierungssysteme
- › Einrichtungen zur Kultivierung von anaeroben Mikroorganismen
- › Enzymreaktoren
- › Flüssigchromatographie zur schnellen Aufreinigung von Proteinen (FPLC)
- › Downstream Processing, z.B. Membranmodule für organophile Pervaporation und Perstraktion (in situ-Produktentfernung), Crossflow-Einheiten, Gefriertrocknungseinheit
- › Komplette molekularbiologische Ausstattung (PCR-Geräte, qPCR, Geldokumentation, Elektroporator)
- › UV-Vis-Spektrometer von Milli- bis Nanoliterbereich
- › Elektroporation
- › Durchflusszytometrie (Fluorescence-Activated Cell Sorting)
- › Mikromanipulator
- › Konfokale Laser Scanning Mikroskopie
- › Fluoreszenzmikroskopie



# Weiterbildung

Mit etwa 40 jährlich stattfindenden Kursen bietet das Weiterbildungsprogramm des DFI Naturwissenschaftlern und Ingenieuren zahlreiche Möglichkeiten, um sich fachlich, beruflich und persönlich weiterzuentwickeln. Wir bieten Weiterbildungskurse zu verschiedenen Schwerpunktthemen in der Verfahrens- und Reaktionstechnik, Sicherheitstechnik, Steuer- und Regelungstechnik, Elektrochemie, Korrosion, Biotechnologie sowie zu Querschnittsthemen an.

Unsere Kursteilnehmer profitieren von der langjährigen Erfahrung eines unabhängigen Forschungsinstituts, das den Wissenstransfer als eine seiner Missionen stetig verfolgt. Deshalb ist der innovationsbegleitende Wissens- und Know-how-Transfer im Rahmen unseres Weiterbildungsangebots das oberste Ziel unserer Kursreferenten. Das Kursangebot des DFI schließt Kenntnislücken, macht frühzeitig auf zukunftsweisende Entwicklungen aufmerksam und transferiert neue Methoden in die industrielle Praxis. Dabei wird auf die Verbindung von Theorie und Praxis besonderen Wert gelegt und anwendungsnahe Experimentalkurse runden das DFI-Kursangebot ab.

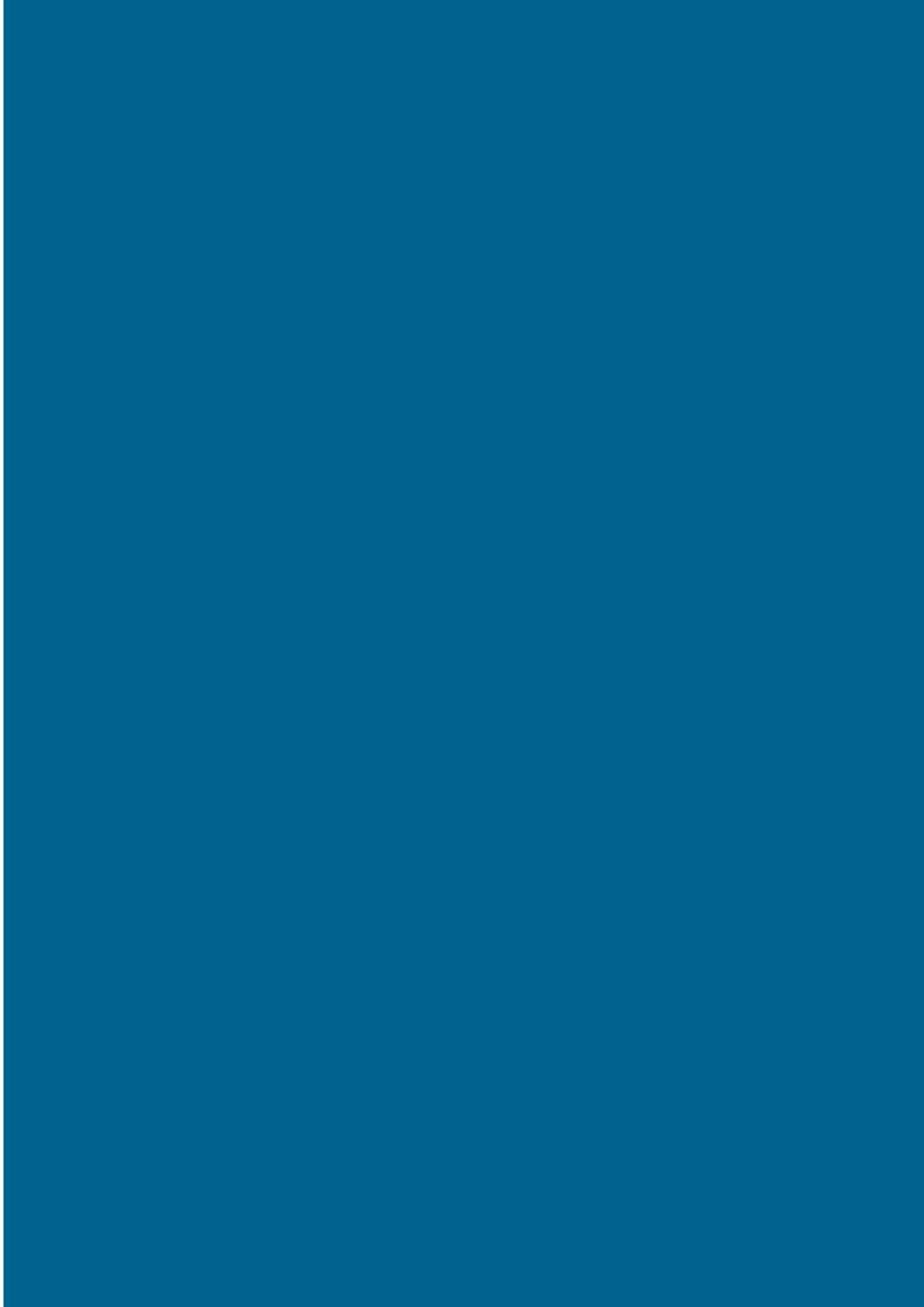
## Inhouse-Schulungen

Um den Anforderungen größerer Unternehmen an die Weiterbildung ihrer Mitarbeiter gerecht zu werden, bietet das DFI in allen Themenbereichen maßgeschneiderte Inhouse-Kurse an. So können spezifische Fragestellungen gezielt behandelt und dabei Reisezeit und -kosten eingespart werden.



Erfahren Sie mehr über unsere Weiterbildungskurse unter:  
[www.dechema-dfi.de/kurse](http://www.dechema-dfi.de/kurse)





**DECHEMA-Forschungsinstitut**

Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main  
[www.dechema-dfi.de](http://www.dechema-dfi.de)

