

# 2015

JAHRESBERICHT







**2015**

JAHRESBERICHT



# INHALT

## EDITORIAL ..... 06

## PROFIL

Die Fraunhofer-Gesellschaft .....	10
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT .....	12
Kurzprofil des Fraunhofer ICT-IMM .....	14
Fraunhofer ICT-IMM in Zahlen .....	17
Organigramm des Fraunhofer ICT-IMM .....	18
Netzwerke des Fraunhofer ICT-IMM .....	20

## PRODUKTBEREICHE

Dezentrale und Mobile Energietechnik .....	24
Mikrofluidische Analysesysteme .....	28
Kontinuierliche Chemische Verfahrenstechnik .....	32
Medizinische Sonden und Technische Sensorik .....	36
Nanopartikel Technologien .....	40
Zukunftstechnologien .....	44

## HIGHLIGHTS

LUXKOP – Polymer-Wellenleiterkoppler für Anwendungen in der Energietechnik und in Fahrzeugen .....	50
MICRO4NANO – Kontinuierliche Synthese von Nanopartikeln .....	51
IONOZELL – Automatisierte Ionenanalytik mittels chipbasierter Elektrophorese .....	52
CTCelect – Automatisierte Isolierung und Nachweis von frei zirkulierenden Tumorzellen aus Patientenblut .....	53
d-LIVER – IKT-unterstütztes, zelluläres, künstliches Leber-System zum personalisierten Patientenmanagement .....	54
GOBIGGS – Tankinertisierung für Luftfahrzeuge .....	55
WISLOC 15 – Automatisierung des Nachweises von Pathogenen aus Luftkeimsammlerproben .....	56
NANOSCH – Analyse der Interaktion von Nanopartikeln mit Blutbestandteilen .....	57
BIODIESEL2 – Biodieselsynthese unter überkritischen Bedingungen .....	58
CONTINMR – On-line Analyse für kontinuierliche chemische Prozesse .....	59
Mehr Raum für Zukunft .....	60

## ANHANG

Messen & Veranstaltungen 2015 .....	64
Konferenzen 2015 .....	66
Publikationen 2015 .....	70

## IMPRESSUM ..... 78

A man with a beard and short brown hair, wearing a white dress shirt and a red, white, and blue striped tie, is smiling at the camera. He is leaning over a large, complex industrial machine, possibly a medical scanner or diagnostic equipment, and is using a long-handled tool to adjust a component. The machine is light-colored with various pipes, valves, and a large circular opening. The background shows a clean, industrial setting with a grey wall and some equipment. The lighting is bright and focused on the man and the machine.

„Das Streben nach Qualität  
ist die Leidenschaft,  
die uns alle verbindet“

PROF. DR. MICHAEL MASKOS

# LIEBE LESERINNEN UND LESER,

Als „Jugendlicher“ hat man es gefühlt oft sehr schwer im Leben. Man wähnt sich kritisiert, oft auch falsch verstanden und steht vor einem schier unüberwindlichen Berg von Regeln, deren Sinn man in einigen Fällen partout nicht einsehen will, klagt über mangelnde Freiheit und Selbständigkeit. Neben einem stehen die „Eltern“, die mit nicht enden wollender Geduld, manchmal aber auch Strenge, ihren Standpunkt vertreten und die Notwendigkeit von Grenzen und Vorschriften aufzeigen und verteidigen. Dieser vermeintliche Konflikt spielt sich permanent in Millionen von Haushalten ab und steht letztlich für nichts anderes als das Zusammenwachsen einer Familie – mit allen Höhen und mit allen Tiefen, auf einem individuell sehr unterschiedlich langen Weg – meist aber dann doch mit einem Happy End.

Warum dieser Ausflug ins Familienleben? Nun, als einer der „Junioren“ in der größten deutschen Gemeinschaft für angewandte Forschung mag sich mitunter ein ähnliches Gefühl einstellen. Man ist mit stolzgeschwellter Brust auf der Suche nach seinem Platz, kriegt den einen oder anderen Ellenbogen ab, teilt aus, ist auch mal frustriert, weil Dinge sich langsamer oder anders entwickeln als erhofft und erfreut sich an den kleinen und größeren Erfolgen. All diese emotional wechselnden Begleitumstände sind, glaube ich, untrennbarer Bestandteil eines solchen Integrationsprozesses und völlig normal, solange das Handeln von gemeinsamen Zielen und Werten bestimmt ist. In unserer „Familie“ hier am Fraunhofer ICT-IMM streben wir nach dem Happy End für unser Institut. Und das tun wir, indem wir aufeinander zugehen, gemeinsam Probleme lösen und, was ganz wichtig ist, keiner ist sich zu schade oder zu stolz dabei mit anzupacken.

Ohne an dieser Stelle zu sehr ins Detail gehen zu wollen, ist zuvor Gesagtes wohl keine allzu schlechte Beschreibung, wie wir das Jahr 2015 hier am Standort Mainz zusammen erlebt haben. Manche Einschnitte im Hinblick auf die kommenden Jahre mögen geschmerzt haben, aber sie waren unerlässlich, um gesund und gestärkt in die Zukunft gehen zu können.

Wir haben Allianzen geschmiedet, Verträge geschlossen und uns im Rahmen von Konferenzen und Ausstellungen sehr professionell und auch wirkungsvoll nach außen präsentiert. Wir können stolz sein auf das, was wir geleistet haben, und auch auf die Anerkennung und das Lob, das wir an vielen Stellen dafür bekommen haben.

Haben wir uns nun eine Pause verdient? Vielleicht, aber wir werden trotzdem keine einlegen! Aus den Erfolgen ziehen wir unsere Motivation und den Ansporn, in unseren Prozessen noch effizienter zu werden. Wir wachsen an unseren Stärken und wir lernen aus unseren Fehlern. Das Ziel ist es, unseren Kunden immer die bestmögliche Qualität zu attraktiven Konditionen zu liefern. Das Streben nach Qualität ist die Leidenschaft, die uns alle verbindet.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viel Spaß beim Lesen unseres Jahresberichtes 2015. Und ich bin mir sicher, dass Sie an dessen Qualität nichts auszusetzen haben werden.



**PROF. DR. MICHAEL MASKOS**  
INSTITUTSDIREKTOR FRAUNHOFER ICT-IMM



**PROFIL**

# 67



**INSTITUTE UND  
FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN**  
(DEUTSCHLANDWEIT)

# 24.000



**MITARBEITERINNEN  
UND MITARBEITER**



**FORSCHUNGSVOLUMEN**  
(IN EURO)

**< 30 %**

FINANZIERUNG VON  
BUND UND LÄNDERN

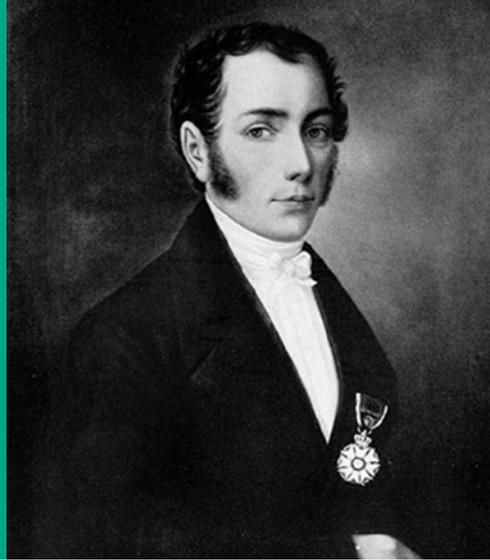


**VERTRAGSFORSCHUNG**  
(IN EURO)

**> 70 %**

INDUSTRIE UND  
ÖFFENTLICH  
FINANZIERT  
FORSCHUNG-  
PROJEKTE

Joseph von Fraunhofer



# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 67 Institute und Forschungseinrichtungen. 24.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen über 1,8 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen. Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit

tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

# FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR CHEMISCHE TECHNOLOGIE ICT

Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT ist eines der größten und, aufgrund der Gründung bereits im Jahre 1959, eines der etablierten Institute der Fraunhofer Gesellschaft. Inklusive der Außenstellen des Institutes sind 2015 ca. 800 Personen am Institut beschäftigt. Am Hauptstandort in Pfinztal forschen und entwickeln aktuell etwa 540 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Kernkompetenzen Chemical & Environmental Engineering, Polymer Engineering, Energiesysteme und Explosivstoff-Technik.



Die Gesamtfläche des Institutes in Pfinztal beträgt 200.000 m<sup>2</sup>, davon entfallen 25.000 m<sup>2</sup> auf Laboratorien, Büros, Technika, Werkstätten, Prüfstände und Infrastruktur. Entsprechend dieser ausgezeichneten Infrastruktur mit zum Teil großserienfähigen Anlagen im Technikums- und Industriemaßstab legen wir einen besonderen Schwerpunkt auf die Entwicklung und Umsetzung von neuen Materialien, Verfahren und Produkten bis zur vorserienreifen Anwendung. Gut ausgestattete und unter neuesten Erkenntnissen der Sicherheits- und der Energietechnik ausgerüstete Labore sowie alle in der Forschung auf unseren Arbeitsgebieten notwendigen Analyse- und Testverfahren sind am Fraunhofer ICT etabliert.

Unsere Kunden und Projektpartner kommen überwiegend aus den Bereichen Automobil und Verkehr, Energie und Umwelt, Verteidigung und Sicherheit sowie Chemie und Verfahrenstechnik.



### Unsere Verteidigungsforschung

Wir sind das einzige Explosivstoff-Forschungsinstitut in Deutschland, das den gesamten Entwicklungsbereich vom Labor über das Technikum bis zum System bearbeitet. Wir verfügen über jahrzehntelange Kompetenz bei chemischen Energieträgern wie beispielsweise Raketentreibstoffen, Rohrwaffentreibmitteln oder Sprengstoffen und sind seit über 55 Jahren Forschungspartner des Bundesverteidigungsministeriums.

### Unsere vier Kernkompetenzen

Die Kernkompetenz „Chemical and Environmental Engineering“ umfasst die Fähigkeit zur Auslegung und Durchführung neuartiger, ressourcenschonender chemischer Prozesse vom Labor- bis zum technischen Maßstab. Die Kernkompetenz deckt hierbei die gesamte Prozesskette ab – beginnend bei der Rohstoffaufarbeitung, über die chemische Reaktionsführung, das Downstream-Processing bis hin zu nachgeschalteten Prozessen wie der Produktveredelung und Formgebung.

Seit seiner Teilkonversion im Jahre 1994 betreibt das Fraunhofer ICT in der Kernkompetenz „Polymer Engineering“ erfolgreich anwendungsnahe Forschung von der Polymersynthese über Werkstofftechnik, Kunststoffverarbeitung, Bauteilentwicklung und -fertigung bis hin zum Recycling von Kunststoffen und ihren Anwendungen.

Eine nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung sowie der effiziente Umgang mit Energie bilden die Schwerpunkte der aktuellen Forschungspolitik. Innerhalb der Kernkompetenz „Energiesysteme“ befasst sich das Fraunhofer ICT mit Energiespeichern für mobile und stationäre Systeme, mit dem Thema Brennstoff-

zellen sowie mit Wärmespeichern und stofflichen Energiespeichern. Das Institut hat sich innerhalb dieser Kernkompetenz über mehr als 30 Jahre elektrochemisches und chemisches Know-how aufgebaut und die Grundlagen für die Entwicklung effizienter und kostengünstiger Speicher und Wandler gelegt.

Auf Basis langjähriger Erfahrung steht das Fraunhofer ICT als einziges deutsches Forschungsinstitut im Bereich „Explosivstoff-Technik“ sowohl dem Verteidigungsministerium als auch der Industrie und öffentlichen Einrichtungen zur Bearbeitung aktueller Fragestellungen in den Themenfeldern innere und äußere Sicherheit zur Verfügung. Im Fraunhofer ICT kann die gesamte Systemkette vom Rohprodukt bis zum Prototyp eines Explosivstoffproduktes abgebildet werden.

### Unsere Geschäftsfelder

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer ICT finden überwiegend in vier am Markt orientierten Geschäftsfeldern Anwendung, diese sind:

- Verteidigung, Sicherheit, Luft- und Raumfahrt
- Automobil und Verkehr
- Energie und Umwelt
- Chemie und Verfahrenstechnik

### Kontakt

Prof. Dr. Peter Elsner  
Telefon +49 721 4640-401  
[peter.elsner@ict.fraunhofer.de](mailto:peter.elsner@ict.fraunhofer.de)

# KURZPROFIL DES FRAUNHOFER ICT-IMM

Die steigende Lebenserwartung der Bevölkerung sowie der weltweit stetig wachsende Bedarf an Energie und Ressourcen sind eine große Herausforderung für die Gesamtheit der Industriezweige. Viele Branchen sind charakterisiert durch deutlich verkürzte Produktzyklen bei gleichzeitig steigendem Anspruch an die Komplexität von Systemlösungen. Einzelne technologische Fortschritte im Produktionsprozess einzuführen ist kein hinreichender Gradmesser mehr, um als innovatives Unternehmen eingestuft zu werden. Das Primärziel liegt in der nachhaltigen Veränderung von Konsum und Verhalten sowie einem an die globalen Gegebenheiten angepassten Umgang mit den Ressourcen.

Seit 25 Jahren stellen wir uns in Mainz diesen Herausforderungen und bilden die Brücke von der Grundlagenforschung zur Anwendung. Entwicklungen durchlaufen unser Institut von der Idee über die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung bis hin zu ihrer Umsetzung in kundenspezifische Lösungen mit Produktrelevanz. Dabei organisieren wir unsere Kompetenzen insbesondere nach den prioritären Zukunftsfragen *Nachhaltiges Wirtschaften und Energie, Gesundes Leben, Intelligente Mobilität und Zivile Sicherheit*. Wir tragen mit system- und technologieorientierten Innovationen zur Wettbewerbsfähigkeit unserer Kunden und Partner bei. Dabei stehen wir für verantwortungsbewussten Umgang mit neuen Technologien und für nachhaltige Entwicklung zum Nutzen für die Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft.

## Anwendungsorientiert und interdisziplinär

Wir entwickeln unsere Anwendungen nicht nur mit und für die Industrie, sondern sind ebenso an deren projektorientierter Fortentwicklung interessiert. So arbeiten wir gemeinsam in durch Bund, Länder und EU kofinanzierten Projekten mit Unternehmen der Wirtschaft sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten an den Fragestellungen der Zukunft.

## Produktbereiche

- Dezentrale und Mobile Energietechnik
- Kontinuierliche Chemische Verfahrenstechnik
- Medizinische Sonden und Technische Sensorik
- Mikrofluidische Analysysteme
- Nanopartikel-Technologien

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Entwicklungen finden hauptsächlich in den Geschäftsfeldern Energie und Umwelt, Chemie, Verfahrenstechnik und Luft- und Raumfahrt, Biomedizinische Analytik und Diagnostik und Sicherheit sowie Industrielle Analytik Anwendung. Ergänzt werden diese Produktbereiche auf technologischer Seite durch Know-how in mechanischen Präzisionsbearbeitungsverfahren, Funkenerosion, Lasermaterialbearbeitung sowie durch eine Reihe von Reinraum basierten chemischen und physikalischen Strukturierungsverfahren.



## UNSERE PHILOSOPHIE

Mit unserer Forschungsarbeit leisten wir tagtäglich einen wichtigen Beitrag für Wirtschaft und Gesellschaft. Ein Statement, das unser Bewusstsein als Gruppe maßgeblich prägt. Wir wissen was wir tun, warum wir es tun und wo wir hin wollen. Werte und Visionen helfen uns, den Kurs zu halten und geben Rückenwind.

### Mission Statement

Das Fraunhofer ICT-IMM forscht und entwickelt in den Geschäftsfeldern Energie und Umwelt, Chemie, Verfahrenstechnik, Luft- und Raumfahrt, Biomedizinische Analytik und Diagnostik, Sicherheit sowie Industrielle Analytik. Dabei schlagen wir die Brücke von der Grundlagenforschung zur Anwendung. Unsere Entwicklungen durchlaufen das Institut von der Idee über die anwendungsorientierte Forschung bis hin zu ihrer Umsetzung in kundenspezifische und marktnahe Ergebnisse. Wir entwickeln nicht nur Lösungen mit der und für die Industrie, sondern sind ebenso an der projektorientierten Fortentwicklung unserer Fähigkeiten interessiert. So arbeiten wir auch gemeinsam in durch Bund, Länder und EU kofinanzierten Projekten mit Unternehmen der Wirtschaft sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten an den Fragestellungen der Zukunft. Uns zeichnet vor allem die Vielfältigkeit unseres Könnens aus. Wir haben uns nicht nur auf ein Gebiet spezialisiert, sondern sind Experten in der Synergiegewinnung aus mehreren Gebieten. Somit sind wir für unsere Kunden ein wertvoller Partner, wenn es um die Verwirklichung zukunftsweisender Visionen geht.

### Vision

Als Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft bieten wir unseren Partnern und Kunden Forschungsleistungen von exzellenter Qualität. In diesem Bewusstsein wollen wir als Vertragsforschungseinrichtung einen Spitzenplatz in Europa erreichen und halten.

Dabei steht für uns das Bemühen um einen nachhaltigen Beitrag zur Gestaltung von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt an erster Stelle. Unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern räumen wir im Rahmen unseres Projektgeschäfts Freiräume für kreatives und inspiratives Arbeiten ein, damit wir als Institut Forschungsinnovationen von Rang entwickeln können.

# UNSER ANSPRUCH

Hohe Erwartungen stellen wir vor allem an unsere Arbeit, unsere Mitarbeiter und auch an unsere Partner. Wir sehen diese Erwartungen jedoch nicht als Druckmittel, sondern vielmehr als Herausforderung, uns selbst in Sachen Qualität und Innovation immer wieder zu übertreffen. Eine Erfolgsformel, die sich seit Jahren bewährt hat.

## Höchstleistung ist fester Bestandteil unserer Institutskultur

Unser Handeln ist geprägt durch den Anspruch, all unser Tun bestmöglich zu verrichten. Dies schließt ein, dass wir unsere Fähigkeiten ständig weiterentwickeln und verbessern. Unser Anspruch ist dabei stets, die Erwartungen und Wünsche unserer Auftraggeber und Partner zu übertreffen. Die Zufriedenheit unserer internen und externen Kunden ist für uns ein maßgeblicher Erfolgsfaktor. Mit unseren Innovationen tragen wir zur Wettbewerbsfähigkeit unserer Kunden in ihrer Region, in Deutschland und Europa bei. In unserer Forschung beachten wir die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis. Der achtsame und verantwortungsbewusste Umgang mit neuen Technologien ist für uns selbstverständlich.

## Wirtschaftlichkeit

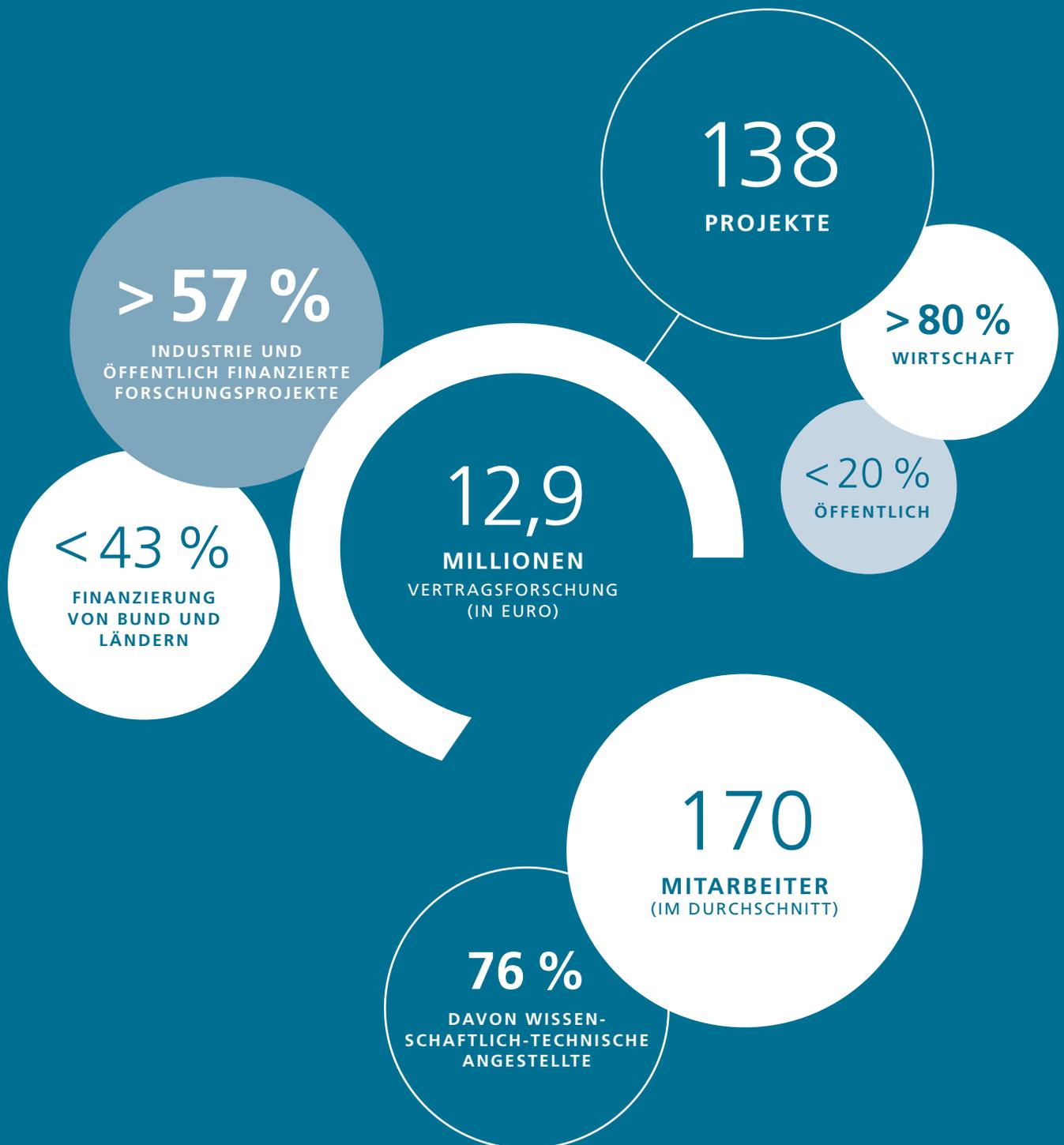
Die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft führen Vertragsforschung im Kundenauftrag und öffentlich geförderte Vorlauforschung durch. Wir finanzieren unseren Haushalt zu großen Teilen selbst. Unsere Projekte der öffentlichen Vorlauforschung richten wir auf wirtschafts- und gesellschaftsrelevante Themen aus, so dass sich unmittelbare Anknüpfungspunkte für die nachfolgende Auftragsforschung für unsere Kunden ergeben. Wir setzen wissenschaftliche Erkenntnisse in nutzbare Innovationen um und leisten damit einen Beitrag zu Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung.

## Mitarbeiter

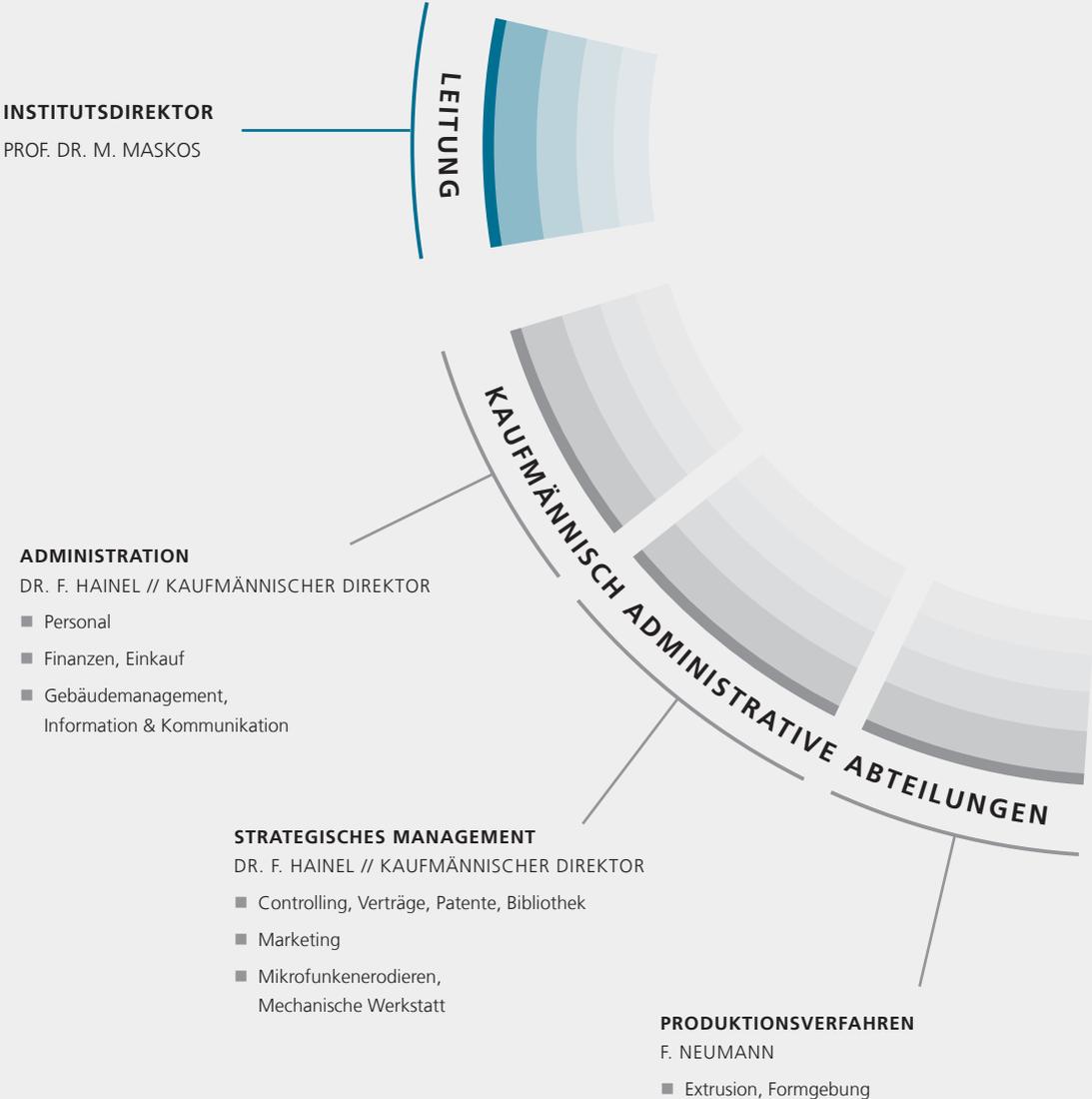
Unsere Institutskultur ist geprägt von eigenverantwortlich handelnden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die Projekte in interdisziplinär arbeitenden Teams zum Erfolg führen. Der inhaltliche und wirtschaftliche Erfolg unserer Projekte wird bestimmt von der Erfahrung, vom Wissen, vom Können und vom Einsatz unserer Mitarbeiter. Deshalb fördern wir unsere Mitarbeiter durch kontinuierliche und zielgerichtete Aus- und Fortbildung, damit sie auch künftig den sich ständig verändernden Anforderungen der Märkte gerecht werden können. Ebenso glauben wir, dass erfolgreiche Forschung am besten in ausgewogenen Teams praktiziert werden kann. Aus diesem Grund setzen wir auf Vielfalt, das kreative Potenzial beider Geschlechter, verschiedener Altersstufen, Kulturen und Fachrichtungen. Zum Schutz der Gesundheit unserer Belegschaft stellen wir hohe Ansprüche an die Arbeitssicherheit und die Qualität des Arbeitsumfeldes und der Arbeitsplätze.

# 2015

## FRAUNHOFER ICT-IMM IN ZAHLEN



# ORGANIGRAMM DES FRAUNHOFER ICT-IMM



## ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

DR. K. S. DRESE // WISSENSCHAFTLICHER DIREKTOR

- Modellierung
- Strategische Forschungsentwicklung

## PROZESSDESIGN

PROF. DR. H. LÖWE // WISSENSCHAFTLICHER DIREKTOR

- Kooperation JGU Organische Chemie

## KONTINUIERLICHE CHEMISCHE VERFAHRENSTECHNIK

DR. P. LÖB

- Durchflusschemie
- Prozess- & Anlagenentwicklung
- Durchflussphotochemie

## MEDIZINISCHE SONDEN UND TECHNISCHE SENSORIK

DR. P. DETEMPLE

- Mikrosensorik & Systemkomponenten
- Integration & Strukturanalytik
- Laser & Optik

## NANOPARTIKEL TECHNOLOGIEN

PROF. DR. M. MASKOS

- Nanopartikelsynthese
- Nanoanalytik
- Bio-Nano-Grenzflächen
- TALENTA, Nanotherapeutika

## MIKROFLUIDISCHE ANALYSESYSTEME

DR. K. POTJE-KAMLOTH

- Biophysikalische Analytik
- Biodiagnostik
- Fluidik
- Chemische Analytik

## DEZENTRALE UND MOBILE ENERGIETECHNIK

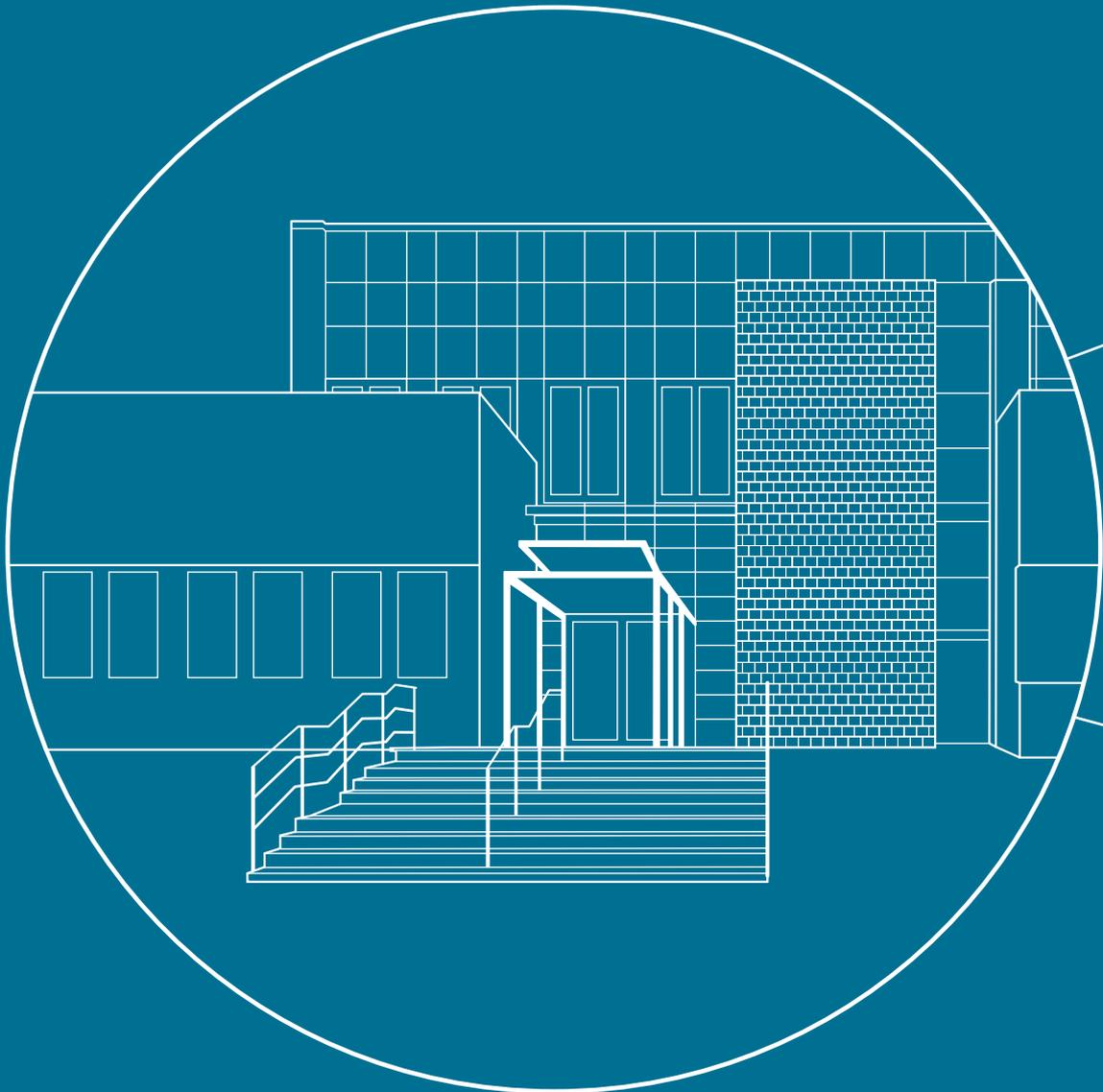
PROF. DR. G. KOLB

- Katalyse
- Prozess- & Reaktordesign

WISSENSCHAFTLICHE ABTEILUNGEN

# NETZWERKE DES FRAUNHOFER ICT-IMM

Zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und wissenschaftlichen Exzellenz ist uns eine enge Vernetzung mit Forschungseinrichtungen und Multiplikatoren besonders wichtig. Unsere Wissenschaftler und Ingenieure kooperieren daher mit Hochschulen, Instituten und Unternehmen im In- und Ausland bei kurz- und langfristig angelegten Entwicklungsprojekten. Enge Verbindungen zu Partnern in der Region sind für uns dabei von besonderer Bedeutung.





### STUDIENARBEITEN UND DISSERTATIONEN

UNIVERSITÄT MAINZ // HOCHSCHULE  
MAINZ // TU DARMSTADT // TU KAISERS-  
LAUTERN // HOCHSCHULE RHEINMAIN //  
FH FRANKFURT



### NETZWERKE

CENTER OF SMART INTERFACES // DUAL  
CAREER NETZWERK RHEIN-MAIN //  
MAINZER WISSENSCHAFTS-ALLIANZ e.V. //  
Ci3 – CLUSTER FÜR INDIVIDUALISIERTE  
IMMUNINTERVENTION

## REGIONALES NETZWERK



### KOOPERATIONEN UND PERSONALAUSTAUSCH

UNIVERSITÄT MAINZ // MPI  
FÜR POLYMERFORSCHUNG  
MAINZ

## FORSCHUNGS- NETZWERK

BMBF-PROJEKT-PARTNER // TU EINDHOVEN NL //  
EU-TECHNOLOGIE PLATTFORMEN //  
EU-PROJEKT-PARTNER // BAM BUNDESANSTALT  
FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG //  
DECHEMA // PROCESS-NET



# PRODUKTBEREICHE





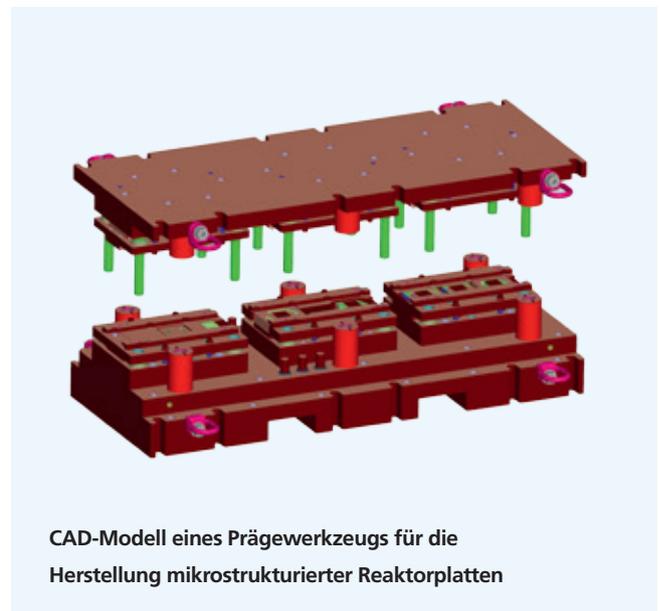
# DEZENTRALE UND MOBILE ENERGIETECHNIK

Der Produktbereich Dezentrale und Mobile Energietechnik entwickelt Systemkomponenten und Komplettlösungen für die energietechnischen Probleme unserer Zeit. Zusammen mit unseren Partnern aus der Fraunhofer-Gesellschaft, aus Deutschland und dem europäischen Ausland forschen wir für unsere Kunden an neuen energietechnischen Verfahren.

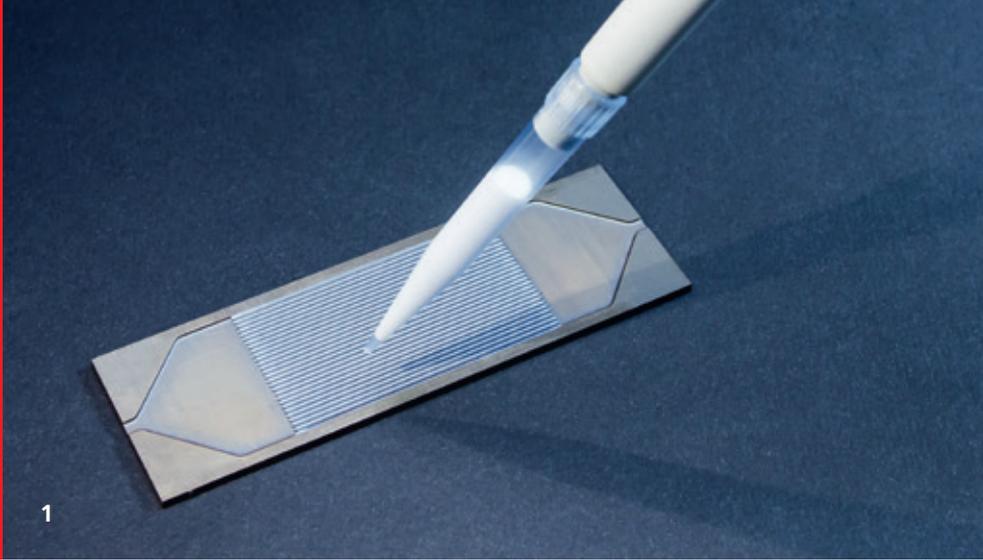
Von der Idee über das Systemdesign, dem Komponentenbau, dem Aufbau von Prototypen und den Funktionstest bieten wir Lösungen aus einer Hand. Auch im Hinblick auf Fertigungstechnik und Produktion haben wir die Antworten parat – damit unsere Ergebnisse wirtschaftlich attraktiv sind.

Der Produktbereich hat eine mikrostrukturierte Plattenwärmeübertragertechnik zur Serienreife entwickelt. Plattenwärmeübertrager können durch die Beschichtung mit Katalysatoren auch als chemische Reaktoren eingesetzt werden. Die Reaktoren können durch eine patentierte Kombination von Präge-, Biege- und Stanzvorgängen kostengünstig gefertigt werden, die Beschichtung mit Katalysator kann mittels Siebdruck erfolgen, als Fügeverfahren steht ein Laserschweißprozess zur Verfügung. Der Produktbereich verfügt über umfangreiche Erfahrungen mit Reaktionssystemen und Stoffgemischen im Temperaturbereich von  $-250\text{ °C}$  bis  $1.200\text{ °C}$  und Drücken bis mehreren 100 bar.

Die Anwendungsfelder unserer Technologie sind vielfältig und umfassen die Klimatisierungstechnik für mobile und dezentrale stationäre Anwendungen, Abgasbehandlungssysteme, die Wasserstoffbereitstellung für Brennstoffzellen (Reformiertechnik), dezentrale Treibstoffsynthesen auf der Basis regenerativer Rohstoffe, chemische und elektrochemische Speicherverfahren



für regenerative Energie und sicherheitstechnische Systeme auf der Basis katalytischer Verbrennung für unterschiedlichste Anwendungen. Den Anwendungsbereichen entsprechend bedienen wir Kunden aus der Automobilindustrie, der Luftfahrtindustrie, der chemischen und petrochemischen Industrie ebenso wie Energieversorger und Anlagenbauer.

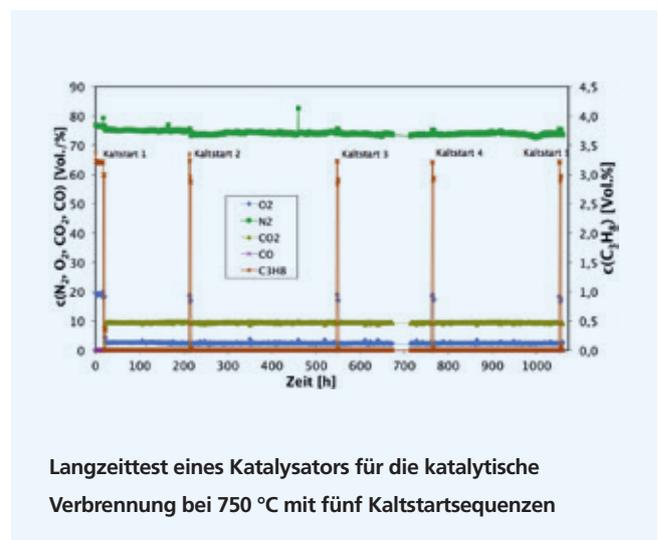


- 1 Durch Washcoating erzeugte Katalysatorbeschichtung
- 2 Integrierter Reaktorturm zur Abgasreinigung (Water-gas shift/Selektivoxidation)
- 3 Gekoppelter Reformier/ katalytischer Nachbrenner

## KATALYSATORENTWICKLUNG UND -BESCHICHTUNG

Die Gruppe Katalysatorentwicklung des Produktbereiches beschäftigt sich mit angewandter Katalyse. Die entwickelten Katalysatoren werden an die Gegebenheiten der jeweiligen Anwendung angepasst. In der Regel werden die Katalysatoren als Beschichtungen in den Plattenwärmeübertragern oder in metallischen und keramischen Monolithen von dezentralen Anlagen eingesetzt. Daraus ergibt sich ein völlig anderes Anforderungsprofil als dies bei großindustriellen Prozessen der Fall ist. So werden die dezentralen Anlagen unter anderem häufig intermittierend betrieben und die Katalysatoren können während der Stillstandzeiten dem Luftsauerstoff ausgesetzt werden.

Die Serviceleistungen decken die Präparation und Charakterisierung (auch mit externen Partnern) der Katalysatoren, das Screening neuer Katalysatorformulierungen, beschleunigte Aktivitäts- und Stabilitätstests und die Bestimmung der Langzeitstabilität der Katalysatoren unter realistischen Bedingungen ab. Für diese Forschungsarbeiten stehen elf Versuchsanlagen im Labormaßstab zur Verfügung, die vollautomatisch im Dauerbetrieb betrieben werden können und mit On-line-Analytik ausgestattet sind. Für die unterschiedlichen gasförmigen, flüssigen und überkritischen Reaktionsgemische steht ein Park von ca. 20 On-line-Geräten zur Verfügung. Unsere Analysemethoden sind Massenspektrometrie (MS), Gaschromatografie (GC), gekoppelte GC-MS, schnelle mikro-GCs und FTIR und erlauben somit auch die Untersuchung komplexer Produktgemische wie fossile und synthetische Treibstoffe.

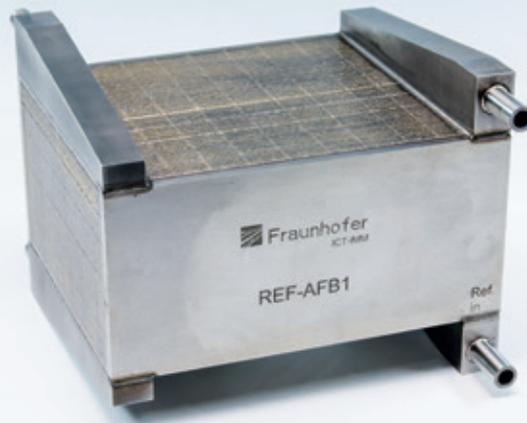


Die Katalysatoren können durch Imprägnierung vorher beschichteter Trägermaterialien oder der pulverförmigen Träger selbst mit nachfolgender Beschichtung oder durch Imprägnierung der Träger mit dispergierten Nanopartikeln und durch eine Reihe anderer Methoden hergestellt werden.

Die Beschichtung der Reaktoren mit Katalysator erfolgt bei größeren Stückzahlen anders als bei den Prototypen nicht händisch, sondern über ein eigens entwickeltes Siebdruckverfahren, was die Herstellungskosten der Komponenten deutlich verringert und wirtschaftlich attraktiv macht.



2



3

## REFORMER / CHEMISCHE ENERGIESPEICHER

Die Wasserstoffbereitstellung für Brennstoffzellen durch katalytische Konversion fossiler und regenerativer Energieträger in mikrostrukturierten Plattenwärmeübertragern ist eine zentrale Kompetenz des Produktbereiches. Gerade durch den Einsatz der Plattenwärmeübertrager kann für mobile und dezentrale Applikationen eine Erhöhung der Kompaktheit des Systems bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung erzielt werden. So kann der Prozess des Wasserdampfreformierens, der durch seinen endothermen Charakter Energie verbraucht, direkt mit katalytischer Verbrennung gekoppelt werden, wodurch Abgasströme des Systems mit maximaler Effizienz genutzt werden können. Das Portfolio der Brennstoffe, mit denen im Produktbereich bereits Erfahrung besteht, umfasst einfache Alkohole wie Methanol und Ethanol, Polyalkohole, leichte Kohlenwasserstoffe wie Erdgas und Flüssiggas sowie höhere Kohlenwasserstoffgemische wie Benzin und Diesel.

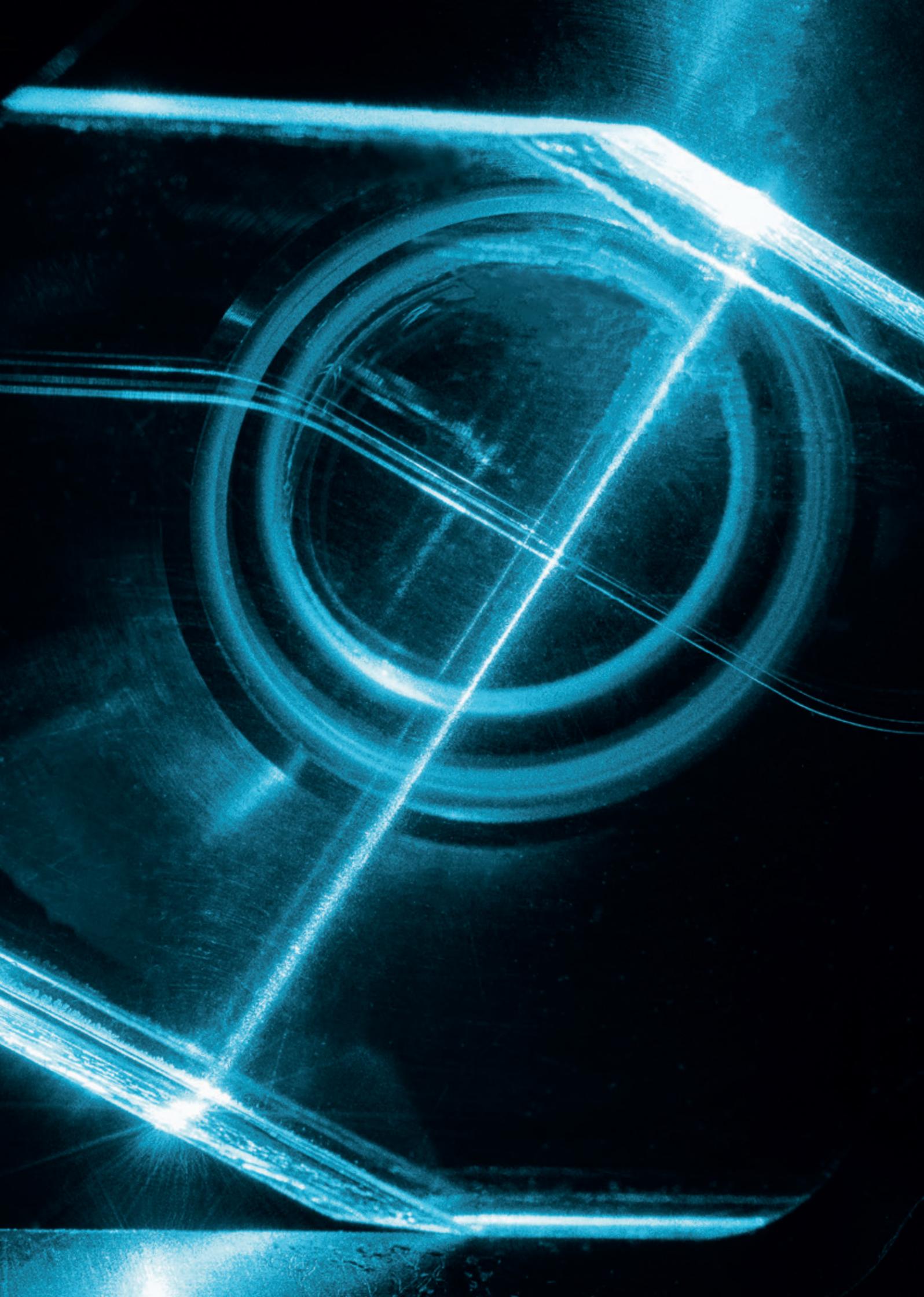
Die Umwandlung des beim Reformierprozess anfallenden Kohlenmonoxids, das für PEM Brennstoffzellen vergiftend wirkt, wird durch katalytische Konversion erzielt. Die hierfür erforderlichen Reaktionen sind exotherm, weshalb integrierte Kühlfunktionen das Wärmemanagement und die Temperaturführung entscheidend verbessern.

In vielfältigen Anwendungen konnten wir demonstrieren, dass durch den Einsatz der im Produktbereich Dezentrale und Mobile Energietechnik entwickelten Technologien eine Größenreduktion um bis zu 90 % im Vergleich zu konventioneller Technik möglich ist.

Die chemische Energiespeicherung hat hohes Potential: Sie kann durch regenerative Energieumwandlung erzeugte elektrische Energie, die im Überschuss vorliegt, intelligent konservieren. Unser Produktbereich beschäftigt sich mit neuen Reaktorkonzepten zur Umwandlung von mittels Wasserelektrolyse gewonnenem Wasserstoff mit Kohlendioxid zu Methan. Durch die mikrostrukturierten Wärmeübertrager kann ein verbessertes Wärmemanagement der exothermen Methanisierung erzielt werden. Zudem wird auch die Problematik der Schwefeltoleranz adressiert. Darüber hinaus beschäftigen wir uns mit elektrochemischen Umwandlungskonzepten für im Überschuss vorliegende regenerativ erzeugte Energie.

### Kontakt

Prof. Dr. Gunther Kolb  
Abteilungsleiter Dezentrale  
und Mobile Energietechnik  
Telefon +49 6131 990-341  
gunther.kolb@imm.fraunhofer.de





# MIKROFLUIDISCHE ANALYSESYSTEME

Als einer der Pioniere der Mikrofluidik entwickelt der Bereich Mikrofluidische Analysesysteme des Fraunhofer ICT-IMM vollintegrierte und automatisierte mikrofluidische Systeme und Bauteile. Anwendungen sind den Bereichen Medizinische Diagnostik und Therapieüberwachung, Umweltanalyse, Biosicherheit, Nahrungsmittelkontrolle, industrielle Analytik sowie Prozessmesstechnik zugeordnet.

Unter einem mikrofluidischen System verstehen wir am ICT-IMM die Kombination aus mikrofluidischen Ein- oder Mehrwegkomponenten sowie einem zugehörigen Betreibergerät. Oftmals wird dazu das mikrofluidische Bauteil als massenfertigungskompatible Einweg-Kunststoffkartusche realisiert. Ein interdisziplinäres Team aus Ingenieuren, Physikern, Biologen und Chemikern bietet Kunden und Partnern dabei den Zugang zur vollständigen Entwicklungs- und Technologiekette. Dies umfasst eine breite Palette von mikrofluidischen und sensorischen Modulen, Konstruktions- und Designwerkzeugen, Fertigungsmethoden sowie Validierungsverfahren, so dass schnell und effizient Kundenanforderungen in der Optimierung von Komponenten oder dem Aufbau von Gesamtsystemen realisiert werden können. Die entwickelten Technologien und Systeme können z. B. in der automatisierten Laboranalytik, für Qualitätskontrollen in Produktionsabläufen sowie als miniaturisierte und portable Systemlösungen für vor-Ort Anwendungen (Point-of-Care/Point-of-Need) genutzt werden.

Wesentliche Erfolge in den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Jahr 2015:

- Im Jahr 2015 haben wir uns im Bereich der Molekularen Diagnostik insbesondere mit Fragestellungen zur Reduktion

der Assayzeiten bei der Nukleinsäureamplifikation bei gleichzeitiger Integration von Multiplex-Fähigkeiten sowie interner Kontrollen beschäftigt. Wir haben ein tragbares mikrofluidisches Analysesystem aufgebaut, welches nach dem Moving-Plug Prinzip arbeitet, alle notwendigen Assayschritte automatisiert steuert sowie eine Datenerfassung und Bildverarbeitung der Kameraaufnahmen ermöglicht. Damit konnte eine fluoreszenz-basierte duplex qPCR mit 35 Zyklen inklusive anschließender Schmelzkurvenanalyse in nur 24 Minuten durchgeführt werden.

- Der neu entwickelte kapazitive Moving-Plug Sensor erlaubt es, mit minimalem Platzbedarf, einseitigem Zugang und berührungslos in einer mikrofluidischen Kartusche Flüssigkeitsfronten schnell und zuverlässig zu erkennen. Der Sensorkopf hat weniger als 5 mm Durchmesser, wird oberflächennah positioniert und vermisst den Zeitpunkt des Transits, die Transportrichtung und die Geschwindigkeit einer Flüssigkeitsfront. Zusätzlich kann unterschieden werden zwischen leeren und gefüllten Kanälen und es kann die Leitfähigkeit eines Mediums vermessen werden. Der Moving-Plug Sensor wird für die Prozesskontrolle in mikrofluidischen Kartuschen benötigt und erspart die Integration kostentreibender Komponenten für die Flüssigkeitssensorik.



- 1 Chipherstellung durch Spritzgießen
- 2 Detailaufnahme der Mischkammer eines MACS-Moduls

## MIKROFLUIDISCHER BAUKASTEN FÜR DIE SYSTEMENTWICKLUNG

Für die Miniaturisierung und Automatisierung fluidischer Abläufe in mikrofluidischen Systemen stehen am ICT-IMM alle wesentlichen Kompetenzen, technologischen Fertigkeiten und Komponenten zur Verfügung. Grundlage der Entwicklungen ist ein modularer Aufbau, der es erlaubt, einzelne Funktionalitäten schnell abzubilden, welche dann wiederum zu einem integrierten System kombiniert werden können. Auf Basis eines „mikrofluidischen Baukastens“ kann in kurzer Zeit eine Idee bis zum Funktionsnachweis geführt und/oder ein voll funktionstüchtiger Demonstrator bis hin zur Nullserie aufgebaut werden. Im Rahmen der anwendungsorientierten Grundlagenforschung erweitern wir den mikrofluidischen Baukasten stetig um neue Funktionalitäten und Module. Ziel der Entwicklungen ist es, dem Anwender leicht zu bedienende, automatisierte Systeme mit hoher Reproduzierbarkeit zur Verfügung zu stellen.

Unser mikrofluidischer Baukasten umfasst die folgenden, wesentlichen Bausteine und Entwicklungsschritte:

- Analyse und Verständnis der Aufgabenstellung aus biologischer, chemischer und physikalischer Sicht.
- Übersetzung in einen „mikrofluidischen Schaltplan“ für die Kartusche auf Basis unserer umfangreichen Modulpalette, z. B. unter Einsatz eines Probennahme-Interfaces, einer integrierten Probenaufbereitung und (berührungslosen) Sensorik.
- Auslegung des Systems mittels numerischer Simulation und Konstruktion mittels 3D-CAD.

- Fertigung und Aufbau der mikrofluidischen Kartusche mit massenfertigungstauglichen Methoden (Spritzguss, Laserschweißen, Pick-and-Place, Ultraschallschweißen, Lyophilisation von Reagenzien, etc.).
- Entwicklung, Konstruktion und Fertigung des zugehörigen, dedizierten Gerätes zum vollautomatischen Betrieb der Kartusche.
- Biologische, chemische und elektro-mechanische Validierung des Gesamtsystems.

Das zentrale Bauteil eines mikrofluidischen Systems ist die mikrofluidische Kartusche (Chip), auf der die Abläufe ausgehend von einem fluidischen „Schaltplan“ implementiert sind. In Analogie zu Leiterbahnen und Bauteilen in der Elektronik sind auf der mikrofluidischen Kartusche Einzelfunktionen unter anderem in Form von Kanälen und Ventilen realisiert. Die hohe Komplexität der physikalischen, biologischen und chemischen Wechselwirkungen zwischen Flüssigkeiten, Kartuschenmaterial und Sensorik erfordert eine interdisziplinäre Herangehensweise in der Entwicklung, um die Anforderungen der Anwendungen mit der technischen Machbarkeit in Einklang zu bringen. Zu jeder Kartusche gehört ein Gerät, das mittels sensorischer und aktuatorischer Schnittstellen den fluidischen Ablauf/Prozess steuert, Daten aufbereitet und mit dem Benutzer oder einer Prozess- und Anlagensteuerung kommuniziert. Die Vollautomatisierung ist wesentlich, um die vom Kunden benötigte Funktionalität des entwickelten Systems umfassend zu validieren.



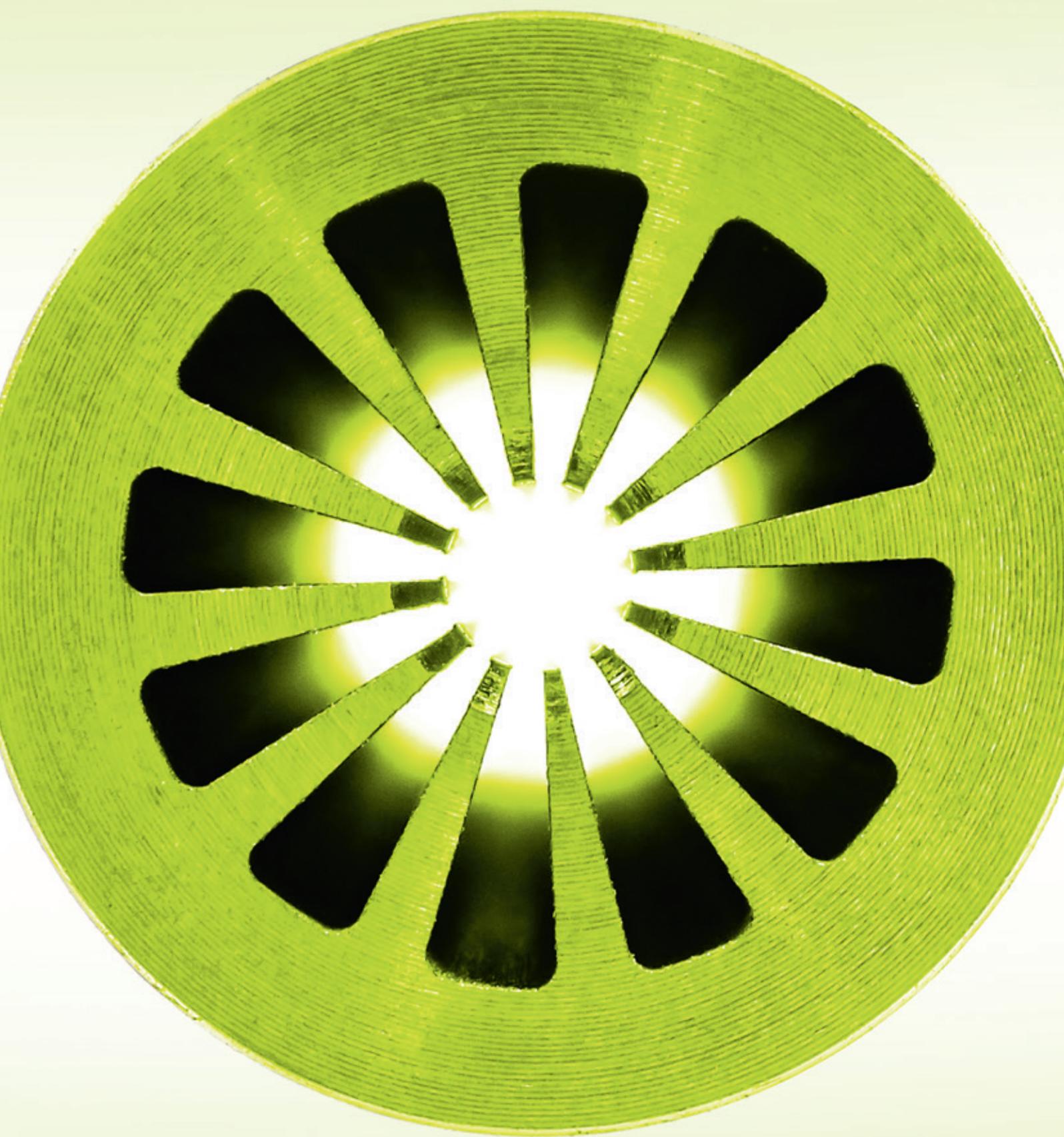
## BIO-ASSAYS / PROBENVORBEREITUNG

Ein großes Marktpotential wird den mikrofluidischen Analysesystemen zur mobilen Untersuchung von kleinen Mengen Probenmaterial beigemessen. Das Spektrum der Probenmaterialien reicht von Körperflüssigkeiten wie etwa Blut, Plasma oder Urin über Abstrichproben, Umweltproben (Erde, Wasser), Rohprodukten (Öl, Chemikalien) bis hin zu Nahrungs- und Futtermitteln. Bei der Entwicklung der mikrofluidischen Analysesysteme werden innovative mikrofluidische Konzepte mit erprobten Extraktions- und Analysemethoden kombiniert und in den aus Kunststoff gefertigten Testträger integriert. Die Verfügbarkeit aller wesentlichen Fertigungsmethoden am ICT-IMM sowie Anwendungs- und Testlaboren (darunter ein S1-Biolabor) ermöglicht die Integration von manuellen Prozessabläufen (wie z. B. Bio-Assays) im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in ein automatisiertes Analysesystem. Durch ein erfahrenes interdisziplinäres Team aus Biologen, Chemikern, Physikern und Ingenieuren ist eine erfolgreiche Umsetzung gewährleistet, da alle Systeme intern validiert werden können. Neben der Umsetzung und Integration direkter Messverfahren kommen auch Verfahren zum Einsatz, die die Analyten zu deren Nachweis zunächst extrahieren und anreichern müssen. Dabei werden die Analyten zunächst freigesetzt, unerwünschte und störende Bestandteile werden abgetrennt und – falls erforderlich – die Analyten ankonzentriert. Anwendungen, die mittlerweile am ICT-IMM etabliert sind, sind beispielsweise die Nukleinsäureextraktion von pathogenen Mikroorganismen aus humanem Probenmaterial oder die Aufreinigung von zellfreier DNA aus großen Mengen Blutplasma sowie die fraktionierte Isolierung von mRNA und genomischer DNA aus einzelnen Zellen für Next-

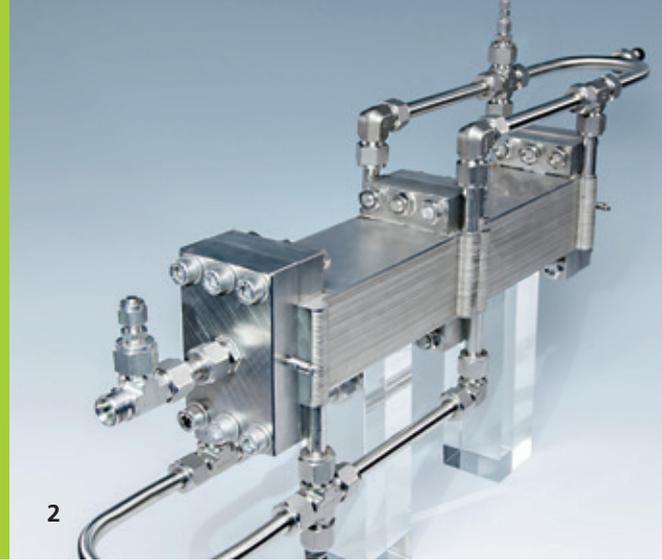
Generation-Sequencing-Anwendungen. Im Bereich „Liquid Biopsy“ wurden Verfahren entwickelt, um frei zirkulierende Tumorzellen immunomagnetisch mit höchster Effizienz aus Blutröhrchen anzureichern und nachzuweisen. Auch wurden Methoden entwickelt, um Exosomen (Vesikel mit teilweisem Krebszellenursprung) aus filtriertem Blutplasma zu isolieren. Im Bereich der Raumlufthygiene und der zivilen Sicherheit können biologische Kontaminationen (Bakterien, Viren oder Toxine) aus einem großen Volumen Luftkeimsammlerprobe aufkonzentriert werden. Allen Verfahren, die am ICT-IMM entwickelt wurden, ist gemeinsam, dass sie automatisiert eingesetzt werden können, entweder mittels normaler Laborrobotiksysteme oder in mikrofluidischen Testträgern. Das breite biologische und chemische Methodenportfolio ermöglicht neben der grundlegenden Umsetzung, Optimierung und Integration von Standard-Assays auch die Entwicklung von gänzlich neuen biologischen/chemischen Assayverfahren, die nicht nur für eine mikrofluidische Umgebung geeignet sind.

### Kontakt

Dr. Karin Potje-Kamloth  
Abteilungsleiterin Mikrofluidische  
Analysesysteme  
Telefon +49 6131 990-247  
karin.potje-kamloth@imm.fraunhofer.de



- 1 Mit Katalysator gefüllter Reaktor
- 2 Gelöteter modularer Mikroreaktor



# KONTINUIERLICHE CHEMISCHE VERFAHRENSTECHNIK

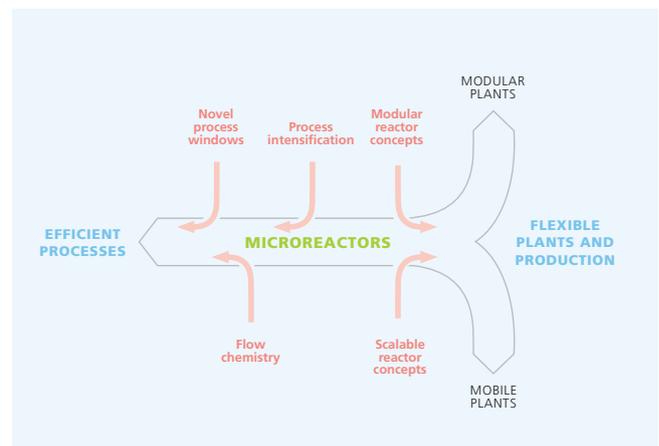
Der Produktbereich Kontinuierliche Chemische Verfahrenstechnik entwickelt und optimiert chemische Produktionsprozesse. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten reichen von chemischer Prozessentwicklung im Bereich der organischen Chemie bis zur Entwicklung innovativer Reaktoren und neuartiger Anlagenkonzepte. Neben einer umfassenden Laborausstattung stellen wir unseren Kunden ein breites chemisches, verfahrenstechnisches und fertigungstechnisches Know-how, insbesondere im Bereich kontinuierlicher Synthesen und Prozesse und entsprechender Apparate zur Verfügung.

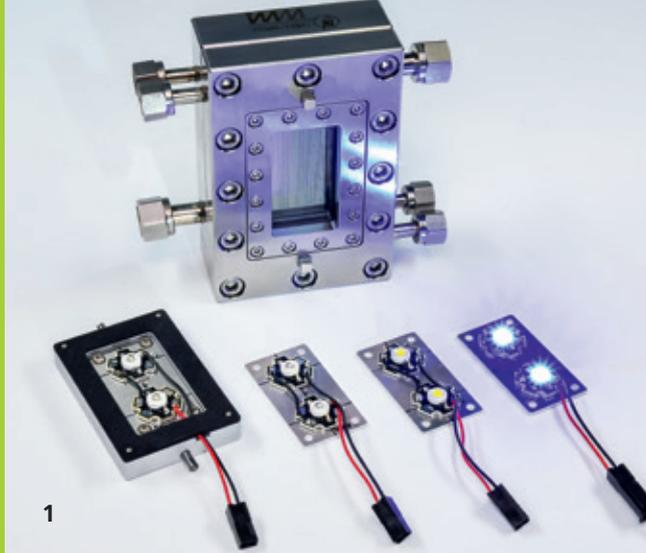
Insbesondere treibt der Produktbereich die Entwicklung und Realisierung ökonomisch tragfähiger und ökologisch nachhaltiger, leistungsfähiger, kontinuierlicher chemischer Produktionsprozesse voran. Grundlage und Ausgangspunkt bilden dabei die Methoden und Apparate der chemischen Mikroprozessertechnik. Diese ermöglichen effektive Prozesse durch präzise Einstellung und Kontrolle von Prozessbedingungen, die zu hohen Ausbeuten und hohen Produktqualitäten führen. Außerdem erschließen die Prozesskontrolle und das reduzierte Reaktorvolumen Vorteile für die Prozesssicherheit bei gleichzeitiger Steigerung von Ressourcen- und Energieeffizienz. Weiterführend ermöglichen die Ansätze neuartige flexible Produktionsszenarien in modularen und dezentralen Chemieanlagen.

Zu unseren Kunden zählen im wesentlichen Unternehmen der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Dabei handelt es sich sowohl um große als auch um kleine und mittelständische Unternehmen. Wir unterstützen sie bei der Umsetzung neuer Produkte, im globalen Wettbewerb und in der Erfüllung von Nachhaltigkeitsforderungen. Öffentlich geförderte Projekte unter Einbeziehung von Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen tragen zur Kompetenzweiterentwicklung und der Erschließung neuer Tätigkeitsfelder bei.

Unsere Kernkompetenz ist die Entwicklung und Optimierung kontinuierlicher chemischer Produktionsprozesse zur Herstellung insbesondere von Fein- und Spezialchemikalien und von pharmazeutischen Zwischenprodukten. Hierbei wird ein integrativer Ansatz für die Prozess-, Reaktor- und Anlagenentwicklung verfolgt.

Wir bedienen schwerpunktmäßig das Geschäftsfeld Chemie/ Pharmazie und gemeinsam mit den anderen Produktbereichen des Fraunhofer ICT-IMM auch das Geschäftsfeld Prozesskontrolle.





## FLOW CHEMISTRY

Mikroreaktoren bzw. allgemeiner Flowreaktoren sind die Basis für kontinuierliche chemische Synthesen und Prozesse. Kontinuierliches Prozessieren wiederum ermöglicht die Überwindung von Limitierungen im Batch-Verfahren und somit die Verbesserung von Prozessen. Wir übertragen Batch-Verfahren in eine kontinuierliche Prozessierung und nutzen bei der Entwicklung neuer Verfahren gezielt deren Vorteile. Häufig handelt es sich bei den betrachteten Prozessen um massen- oder stofftransport-limitierte chemische Reaktionen.

Bei der Identifikation der Limitierung und der Auswahl und Auslegung geeigneter Reaktoren und Apparate können wir auf einen großen Erfahrungsschatz aus mehr als 15 Jahren zurückgreifen. Auf der Basis dieser Erfahrung und unter Nutzung unserer auf kontinuierliche Verfahren ausgerichteten Laborausstattung führen wir experimentelle Prozessentwicklungen durch. Neben der Bearbeitung spezifischer Kundenfragestellungen, wurde im Jahr 2015 der Aufbau von Chemieprozesswissen für spezielle und aktuelle Reaktionsklassen fortgesetzt. Erst ein tiefes Prozesswissen erlaubt die maximale Ausschöpfung der Vorteile kontinuierlicher Verfahren und kontinuierlicher Hochleistungsreaktoren.

Schwerpunkte bildeten so in 2015 weiterhin die Photochemie, die als mildes und „grünes“ Synthesewerkzeug gilt, heterogen katalysierte organische Reaktionen wie Hydrierungen oder Kreuzkupplungsreaktionen, die in-situ Generierung und Umsetzung von reaktiven Intermediaten wie Diazoverbindungen und Grignard-Reagenzien und schließlich, in Zusammenarbeit mit der Abteilung Nanopartikel Technologien, die kontinuierliche

Synthese von anorganischen und organischen/polymeren Nanopartikeln. Die Entwicklung, Auslegung und Realisierung von mikro- und millistrukturierten Apparaten und Reaktoren vom Labor- über den Pilot- bis zum Produktionsmaßstab für kontinuierliche und intensivierete chemische Prozesse ist ein weiterer Schwerpunkt unserer Tätigkeiten. Das Design der Reaktoren wird hierbei durch Modellierung und Simulation unterstützt. Für die Fertigung greifen wir sowohl auf die internen Fertigungsmöglichkeiten als auch, in Ergänzung, auf externe Ressourcen zurück. Ergebnis von rund 20 Jahren Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in diesem Bereich ist ein breites Portfolio an Reaktortechnologie, das als Ausgangspunkt für Neuentwicklungen zur Verfügung steht. So wurden in 2015 beispielsweise größer skalige Photomikroreaktoren, Durchflusszellen für die Nanopartikelgenerierung mittels Laserablation und Reaktoren für plasmachemische Prozesse neu realisiert. Vermehrt wurden hierbei auch additive Fertigungsverfahren zur Realisierung von Laborprototypen in Edelstahl genutzt. Beispielsweise wurden mikrostrukturierte Verdampfer, Wärmetauscher und auch ein Spezialreaktor für die Grignard-Reagenz-Herstellung derart realisiert.

Die Verfügbarkeit von kostengünstigen Fertigungsverfahren für die Realisierung größerer Produktionsreaktoren und größerer Stückzahlen spielt eine wichtige Rolle, um die Reaktortechnologie breiter in die Anwendung für Produktionszwecke zu bringen. Deshalb arbeiten wir an modular aufgebauten Reaktorkonzepten, die auf kostengünstig mittels Walzenstrukturierten Blechen aufbauen.

- 1 Fallfilmmikroreaktor mit Hochleistungs-LED-Arrays
- 2 Mit Magnesiumgranulat gefüllter Reaktor
- 3 Syntheseanlage mit kompaktem NMR-Spektrometer



## PROZESSANALYTIK UND -STEUERUNG

Für katalysierte Reaktionen ist eine Funktionalisierung der Reaktoren nötig. Die Katalysatoreinbringung in verschiedene Reaktoren für organisch-chemische Reaktionen bildete auch in 2015 einen weiteren Schwerpunkt. Neben Festbettlösungen haben wir insbesondere an der Immobilisierung verschiedener Katalysatorsysteme auf Reaktorwänden gearbeitet. Trägersysteme sind dabei anorganische Metalloxide, aber auch durch Plasmapolymerisation aufgebraute Polymerdünnschichten. Im Fall magnetischer Nanopartikel stellt die magnetische Fixierung einen Sonderfall dar.

Die Zusammenstellung von Anlagen für kundenspezifische Zwecke und die Integration unserer meist modular aufgebauten Reaktorsysteme in flexible und mobile Produktionsanlagenkonzepte runden unser Tätigkeitsfeld ab.

In 2015 wurden unsere Beiträge zur Verfolgung des Konzepts modular aufgebauter Reaktoren und Anlagen für den flexiblen Einsatz mit dem „EFCE Process Intensification Award for Industrial Innovation 2015“ der European Federation of Chemical Engineering ausgezeichnet. Weiterhin wurde mit der Evonik Industries AG ein Lizenzvertrag geschlossen, der es Fraunhofer ICT-IMM ermöglicht, auf Evonik's Ecotrainer als mobile und standardisierte Chemieanlageninfrastruktur im Containerformat zurückgreifen. Die Kombination des Ecotrainers mit den kompakten Reaktor- und Anlagenkonzepten von Fraunhofer ICT-IMM verspricht für die chemische Industrie, dass u. a. neue Produktideen schneller in die Produktion und in den Markt eingeführt werden können.

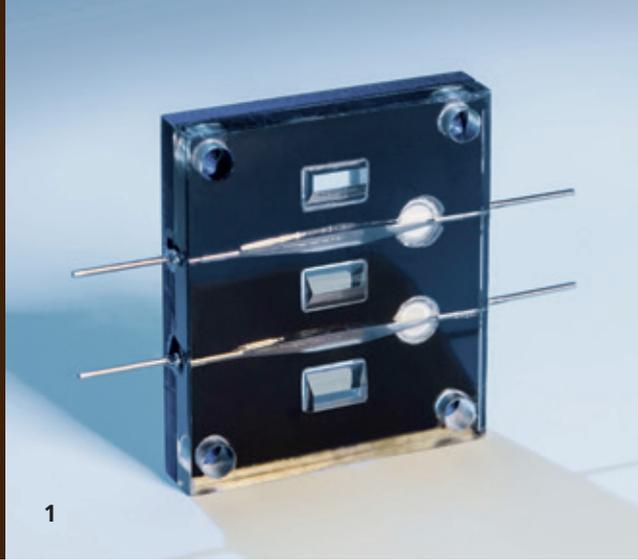
Mikroreaktoren ermöglichen die verbesserte Kontrolle über Prozessbedingungen; teilweise wird dabei in recht harsche Bereiche vorgedrungen. Die räumlich aufgelöste und zeitlich enge Erfassung von Prozessdaten spielt für eine Prozesssteuerung hier eine besondere Rolle. Gleichzeitig bildet dies sowohl die Grundlage für die Prozessdokumentation als auch für eine automatisierte Produktion. In diesem Zusammenhang folgen wir der Leitidee eines möglichst nahtlosen Übergangs von der Kontrolle von Laborversuchen hin zur Automatisierung in Produktionsanlagen.

Neben der Erfassung von Druck, Temperatur und Flussraten ist auch die chemische online-Analytik wichtig. So setzen wir z. B. eine mit einer ATR-IR-Sonde ausgestattete, miniaturisierte Durchflusszelle in einer Anlage für die in-situ-Generierung von Grignard-Reagenzien ein. Weiterhin wurden in 2015 eine Durchflusszelle und ein Probenahmesystem für die Integration eines NMR-Benchtopgeräts in eine kontinuierliche Kleinanlage für die Synthese fluorierter Verbindungen realisiert und erfolgreich getestet.

### Kontakt

Dr. Patrick Löb  
Abteilungsleiter Kontinuierliche  
Chemische Verfahrenstechnik  
Telefon +49 6131 990-377  
patrick.loeb@imm.fraunhofer.de





# MEDIZINISCHE SONDEN UND TECHNISCHE SENSORIK

Der Produktbereich Medizinische Sonden und Technische Sensorik widmet sich der Entwicklung kundenspezifischer Sensoren, Systemkomponenten und Messsystemen für den Einsatz in der industriellen Messtechnik und Analytik, der Medizintechnik sowie der Forschung. Hierzu bieten wir unseren Industriekunden und Forschungspartnern sowohl eine breite, langjährig gewachsene Expertise in der Auslegung, Entwicklung und Fertigung von MEMS-Komponenten als auch von analytischen Messsystemen auf der Basis optischer Nachweisverfahren.

Grundsätzliche Zielrichtung liegt dabei auf der Erarbeitung anspruchsvoller, innovativer Lösungen, die hinsichtlich Funktion, Leistungsfähigkeit und gelebtem Anspruch an die Fertigungstechnologie jenseits des Standes der Technik liegen. Industriellen Kunden bieten wir damit eine leistungsfähige Entwicklungsplattform zur Realisierung neuer, innovativer Produkte; Auftraggeber aus der Forschung erhalten für ihre speziellen messtechnischen Fragestellungen maßgeschneiderte Lösungen. Das Leistungsspektrum reicht von Simulation und Design über Fertigungsentwicklung und Realisierung von Demonstratoren bis hin zur Pilotserienfertigung in reproduzierbarer, dokumentierter Prozess- und Produktqualität.

Für die Produktumsetzung steht die sehr breite Technologiebasis des ICT-IMM zur Verfügung, die von silizium- und dünnschichttechnologischen Verfahren über Laserbearbeitung bis hin zu den präzisionsmechanischen Bearbeitungsverfahren reicht. Unsere Forschungspartner und industriellen Auftraggeber profitieren von dieser Technologiebandbreite insbesondere auch dadurch, dass zu einer gegebenen Entwicklungsfragestellung der in technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht aussichtsreichste Weg beschritten werden kann. Die Kombination von Verfahren und Prozessen der unterschied-

lichen Technologiefamilien ermöglicht es außerdem, neue, unkonventionelle Wege bei der Anwendungsentwicklung zu beschreiten und entwicklungsbegleitende Fragestellungen zu Umsetzungserfolg und Wirtschaftlichkeit verlässlich zu beantworten. Die Leistungsqualität des Produktbereichs spiegelt sich in einer hohen Zahl langjährig wiederkehrender Kunden aus Industrie und Forschung wieder.



**Optische Detektionseinheit zur Transmissionsmessung  
in einem fluidischen Chip**

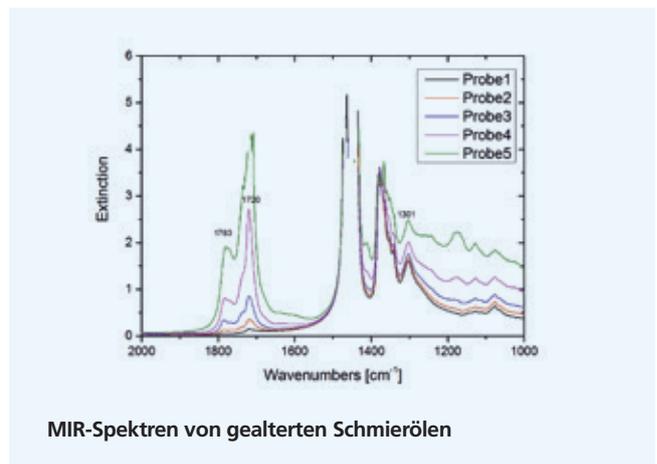


## KUNDENSPEZIFISCHE MESSTECHNIK

Zu den Kernkompetenzen des Bereichs zählt sowohl die Entwicklung MEMS-basierter Sensorik und Systemkomponenten für den Einsatz in anspruchsvollen industriellen Produkten als auch für spezielle Anwendungen in der experimentellen Spitzenforschung. Neben einem hochentwickelten Know-how in der Umsetzung spezifischer Kundenanforderungen in Produktanwendungen bildet das Rückgrat der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hier eine leistungsstarke, fertigungstaugliche Reinraum-Prozesslinie. Hinzu kommen zahlreiche Verfahren der Aufbau- und Verbindungstechnik zur Integration der realisierten Mikrokomponenten in kundenspezifische Subsysteme und Geräteentwicklungen. Insbesondere enthält das Prozessportfolio hochentwickelte Spezialverfahren zur Tiefenstrukturierung von Silizium, zur Realisierung freitragender Membranstrukturen mittels spannungsoptimierter Schichtabscheidung, zur Prozessierung von SOI-Wafern, zur Verarbeitung sog. Dicklacksysteme und Herstellung integrierter, metallischer Funktionselemente mittels Mikrogalvanoformung. Für die Struktur- und Oberflächencharakterisierung in der Verfahrens- und Anwendungsentwicklung sowie zur Qualitätsbewertung in der Fertigung von Pilotserien steht moderne und umfassende Messtechnik zur Verfügung. Zu den aktuellen Produktentwicklungen gehören z. B. Membranchips für die hochsensitive Heliumdetektion, Inertialschalter, temperatur- und strahlungsbeständige Bolometer für die Fusionsforschung sowie eine ultra-präzise optische Spaltbaugruppe für die Raumfahrt.

Für den Bereich der industriellen Medienanalytik entwickelt der Bereich robuste und kostengünstig herstellbare,

optische Messsysteme basierend auf Lichtstreuung und Absorption. Ein Fokus der Arbeiten liegt hier derzeit auf der On-line-Analytik von Schmierölen in Großmaschinen, wofür dezidierte Komplettmesssysteme für Parameter wie z. B. Total Acid Number (TAN), Total Base Number (TBN), Wasserkontamination im ppm-Bereich oder Abriebprodukte realisiert werden. Die Systeme enthalten in der Regel speziell konzipierte Durchflusszellen zum direkten Einbau in den Medienstrom und Mikrocontroller-gesteuerte Betriebselektronik, die je nach Kundenbedarf Stand-alone-Betrieb oder auch Integration in Leitwarten erlaubt. Mit entsprechenden Anpassungen sind die erarbeiteten Nachweisconzepte grundsätzlich auch für andere Bereiche der On-line-Analytik von hohem Interesse. Hierzu gehören z. B. die Prozess- und Produktüberwachung in der chemischen Synthese oder die Überwachung von Prozessabwässern.



- 1 *Online-Viskositätssensor für die Ölanalyse*
- 2 *MIR-optischer Multiparameter-Online-Ölsensor*
- 3 *Modell einer Affenwirbelsäule mit Spinal-elektrodenarray*



## SONDEN UND SENSORIK FÜR MEDIZINISCHE ANWENDUNGEN

Beträchtliches Know-how wurde in den vergangenen Jahren in der Fertigung von Mikroelektrodensonden für neuronale Signalableitung und Stimulation aufgebaut, die mit großem Erfolg in der vorklinischen Validierung neuer Diagnostik- und Therapieansätze in der Neurochirurgie und Neuroprothetik eingesetzt werden. Hierzu gehören starre Sonden mit nur wenigen 100 µm Durchmesser und Längen von einem bis zu einigen 10 cm, die an der Spitze mit bis zu 32 unabhängig adressierbaren Elektroden ausgerüstet werden. Multielektrodensonden dieses Typs werden z. B. in der Hirnforschung zur orts aufgelösten Signalableitung eingesetzt und zeichnen sich gegenüber bestehenden siliziumtechnischen Lösungen insbesondere auch durch Unzerbrechlichkeit aus.

Hochflexible, chronisch implantierbare Multielektrodenarrays können beim ICT-IMM auf Basis fotostrukturierbarer Materialien realisiert werden. Trägermaterial ist hier ein biokompatibles Polymer, Elektroden und Zuleitungen werden typischerweise aus Gold gefertigt. Die im Gewebekontakt stehenden Elektrodenflächen können zur weiteren Vergütung mit Platin oder anderen Elektrodenmaterialien beschichtet werden. Größe, Anzahl und Anordnung der Elektroden kann in weiten Grenzen anwendungsspezifisch festgelegt werden. Zur Verkapselung der Anschlusszone und zur elektrischen Kontaktierung der Zuleitungen stehen zuverlässige Aufbau- und Verbindungstechniken zur Verfügung. Auch ist eine direkte Integration von aktiven Elektronikkomponenten auf den Arrays möglich. Elektrodenarrays dieses Typs werden z. B. bei der Erforschung neuer Wege zur symptomatischen Therapie neurodegenerativer Erkrankungen und zur Wiederherstellung

von Bewegungsfunktionen nach schweren Rückenmarksverletzungen eingesetzt.

Angelehnt an die oben genannten Arbeiten zur Medienanalytik bestehen vielfältige Kompetenzen in der Entwicklung optischer Systeme für medizinische Anwendungen. Hierzu gehören insbesondere miniaturisierte Systeme zum Nachweis biologischer Spezies in diagnostischen Lab-on-Chip-Anwendungen mittels Kolorimetrie, Absorption oder Fluoreszenz als auch Detektionssysteme für Geräteentwicklungen im Bereich der Laborautomatisierung, die auf vom Kunden vorgegebene Assays optimiert werden.

Basierend auf IR-Spektroskopie wurde ein Demonstratorsystem entwickelt, das den Glukosegehalt eines minimalinvasiv am Patienten gewonnenen Perfusats misst und so eine kontinuierliche Blutzuckermessung erlaubt. Das System wurde in ersten klinischen Studien bereits erfolgreich validiert.

### Kontakt

Dr. Peter Detemple  
Abteilungsleiter Medizinische  
Sonden und Technische Sensorik  
Telefon +49 6131 990-318  
[peter.detemple@imm.fraunhofer.de](mailto:peter.detemple@imm.fraunhofer.de)





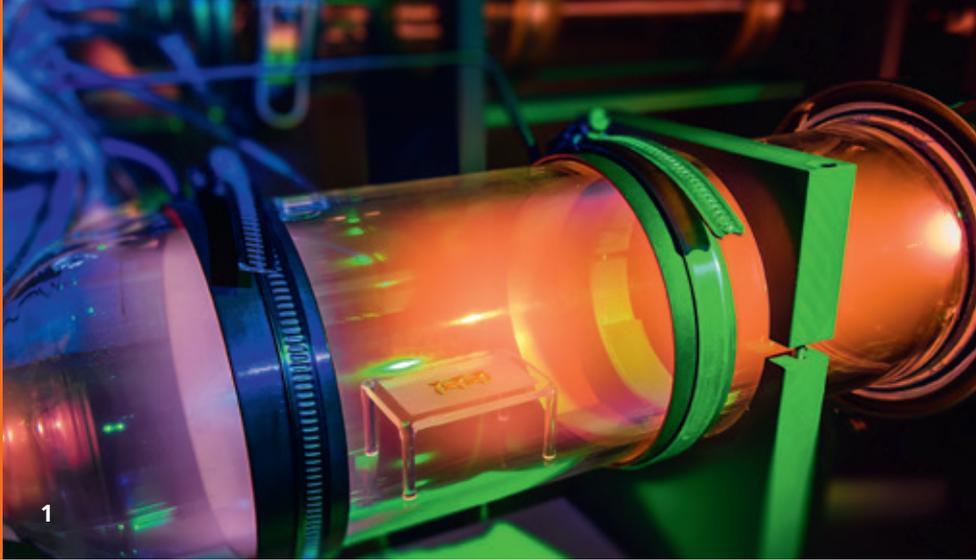
# NANOPARTIKEL TECHNOLOGIEN

Im Fokus der Arbeiten im Bereich Nanopartikel Technologien steht die Entwicklung von Verfahren zur kontinuierlichen, verlässlichen und reproduzierbaren Synthese von Nanopartikeln diverser Materialien wie Metallen (z. B. Gold, Platin, Palladium) oder Oxidmaterialien (z. B. Zinkoxid). Darüber hinaus beschäftigt sich die Abteilung mit sogenannten Quantum Dots, d. h. kolloidalen Halbleiternanopartikeln, die für Anwendungen wie effiziente Displays mit brillanter Farbwiedergabe oder Fluoreszenzmarker im diagnostischen Umfeld besonders interessant sind.

Nanopartikel besitzen aufgrund ihres herausragenden Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnisses vielfältige interessante Einsatzmöglichkeiten. So ist z. B. die herausstechende Eigenschaft von Quantum Dots ihre Fluoreszenz, insbesondere das breite Anregungsspektrum und eine schmale Emissionsbande, die sich direkt über die Partikelgröße beeinflussen lässt. Im Verbund mit dem für die Feinchemie entwickelten Know-how der kontinuierlichen chemischen Verfahrenstechnik konnten wir eine Reihe von unterschiedlichen Batch-Syntheseprotokollen auf ein kontinuierliches Verfahren übertragen. Dabei stehen besonders die Größenkontrolle und Einheitlichkeit, die oft für die Qualität von Nanomaterialien entscheidend sind, im Fokus der Entwicklung. Verschiedene optische Methoden, wie Lichtstreuung oder in-situ und online Absorptionsspektroskopie werden verwendet, um die Partikeleigenschaften direkt im Durchflussprozess zu charakterisieren. Darauf aufbauend kann eine Prozesskontrolle realisiert werden, die es erlauben wird, die gewünschten Produkteigenschaften gezielt einzustellen. Der am Beispiel von Quantum Dots entwickelte generische Syntheseprozess lässt sich ohne weiteres auf andere Nanopartikel anderer Materialklassen übertragen, so dass auf ähnliche Weise auch eine Reihe von anderen Materialien, z. B. Metallpartikel, hergestellt werden konnten. Wir

erwarten, dass zukünftig auch neue Syntheseprotokolle mit diesem kontinuierlichen Ansatz erschlossen werden können. Die bestehenden Anlagen und Module ermöglichen es uns, bei Kundenanfragen flexibel zu reagieren und im Rahmen von Machbarkeitsstudien die Anwendung von kontinuierlichen Prozessen zur Synthese von Nanomaterialien zu zeigen.

In einem nächsten Schritt können wir unseren Kunden Versuchsanlagen zusammenstellen, die aus bereits entwickelten und erprobten Komponenten und Reaktormodulen oder auch speziell auf den neuen Anwendungszweck zugeschnittenen Modulen bestehen. Zudem dienen die Module und Komponenten als Basis von kundenspezifischen Prozessentwicklungen. Zur Analyse von Nanopartikeln verfügen wir über eine Reihe von modernen Messmethoden, wie z. B. Rasterelektronenmikroskop mit Detektor zur Elementanalyse und Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM) mit Energiefilter bzw. EELS-Detektor. Beide Elektronenmikroskope besitzen eine Kryo-Option. Unser Wissen rund um das Scale-up von Prozessen setzen wir gewinnbringend für die Herstellung nanopartikulärer Materialien ein.

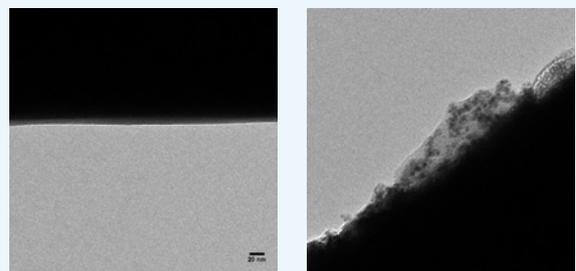


## PLASMABEHANDLUNG

Die Plasmabehandlung von Werkstoffoberflächen erlaubt eine gezielte Modifikation der Oberflächeneigenschaften. So können z. B. inerte Substrate funktionalisiert werden, wodurch sich neue Anwendungsfelder für existierende Materialien erschließen lassen. Von Bedeutung ist eine solche Oberflächenfunktionalisierung für kunststoffbasierte Medizinprodukte wie Implantate, Wundauflagen und Textilien, aber auch zur Innenfunktionalisierung von Röhrchen und Kanülen. Dafür wurden im Jahr 2015 zwei existierende 13.56 MHz-Plasma-Anlagen verwendet. Mit diesen Anlagen wurden gezielte Prozessabläufe für biomedizinische Anwendungen weiterentwickelt, außerdem wurden von unterschiedlichsten Werkstoffen die Oberflächeneigenschaften invertiert (hydrophil/hydrophob) oder das Adhäsionsverhalten verbessert.

Im Jahr 2015 wurde ein Aufbau entwickelt, mit dem die Beschichtung des Inneren von Hohlkörpern aus Glas und Plastik wie z. B. Kanülen, Röhrchen und Kanäle von mikrofluidischen Chips möglich ist. Durch Einstellung der Parameter wird dabei die Eindringtiefe des Plasmas reguliert. Dies erlaubt eine Kontrolle darüber, welche Bereiche des Hohlkörpers funktionalisiert werden und welche unmodifiziert verbleiben. Mittels dieses Verfahrens konnten die Oberflächeneigenschaften der Messzelle eines Analysegeräts zur simultanen Bestimmung von Größe und Konzentrationen von kleinen Nanopartikeln verbessert werden.

Neben den bisher genannten Anwendungen wurde 2015 ein neues Feld für die Plasmabehandlung von Oberflächen erkundet und erschlossen. Plasmapolymerisierte Polymerdünnschichten wurden auf mikrostrukturierte Oberflächen aufgebracht, um als Trägerstruktur für nanoskopische Katalysatoren zu dienen. Neben Palladium-Nanopartikeln wurden auch Organo- und Photokatalysatoren an der Polymerdünnschicht kovalent immobilisiert. Diese neuen Katalysatormaterialien wurden für die kontinuierliche Synthese von Feinchemikalien in kontinuierlich betriebenen Mikroreaktoren eingesetzt.



**links: Plasmapolymerisierter Dünnsfilm auf Edelstahlnetz**  
**rechts: Pd-Nanopartikel synthetisiert und stabilisiert in plasmapolymerisiertem Dünnsfilm auf Edelstahlnetz**

1 Plasmakammer-  
Versuchsanlage

2 Anlage zur kontinuierlichen Formulierung von Polymer-basierten Nanopartikeln



## DISPERGIERTE POLYMERE NANOPARTIKELSYSTEME

Polymere Nanopartikel und Kapseln im Größenbereich zwischen 50 nm und mehreren Mikrometern werden aufgrund ihrer einzigartigen Eigenschaften in verschiedensten Materialien und Life Science-Anwendungen eingesetzt. Mit Hilfe etablierter Prozesse wurden diverse nanopartikuläre Systeme hergestellt und deren physikochemischen Eigenschaften wie z. B. die chemische Zusammensetzung, Form, Morphologie und Oberflächenfunktionalisierung anwendungsspezifisch gezielt modifiziert.

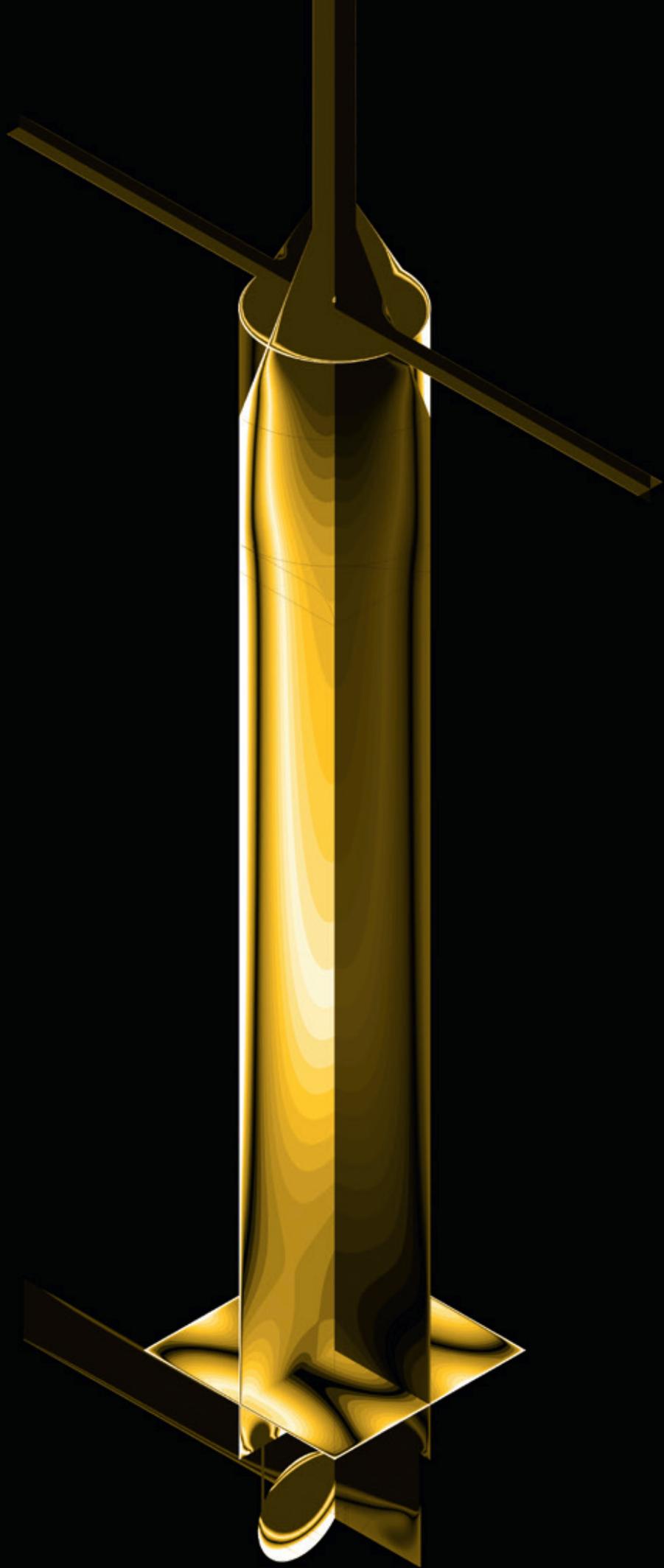
Grundsätzlich besteht die Herausforderung, kontinuierliche Verfahren bzw. Produktionslinien für die Herstellung von funktionellen Polymerdispersionen mit hoher Produktivität, Reproduzierbarkeit, Rohstoff- und Energieeffizienz zu entwickeln. Die wesentlichen Vorteile von in Mikroreaktoren unter Flussbedingungen durchgeführten Partikelformulierungsprozessen liegen in der präzisen Kontrolle von z. B. Temperatur, Konzentration und Flussrate der Inhaltsstoffe, sowie einem sehr definierten Mischprozess. Wir haben 2015 mehrere kontinuierliche Formulierungsprozesse von innovativen Nanopartikeln und Nanokapseln aus synthetischen und natürlichen Materialien etabliert. Die am häufigsten verwendeten Verfahren waren Emulgierung/Lösungsmittel-Verdampfen, Lösungsmittel-Diffusion/Polymer-Nanoausfällung, Phaseninversionstemperatur und polymeranaloge Reaktionen. Die Wahl eines bestimmten Verfahrens ist von den physikochemischen Eigenschaften des Polymers oder Monomers (z. B. Löslichkeit, Molekulargewicht) abhängig. Je nach Ausgangsstoffen können somit zahlreiche Polyester, Polysaccharide und Polyacrylat-basierte Produkte mit speziellem Eigenschaftsprofil kontinuierlich synthetisiert werden.

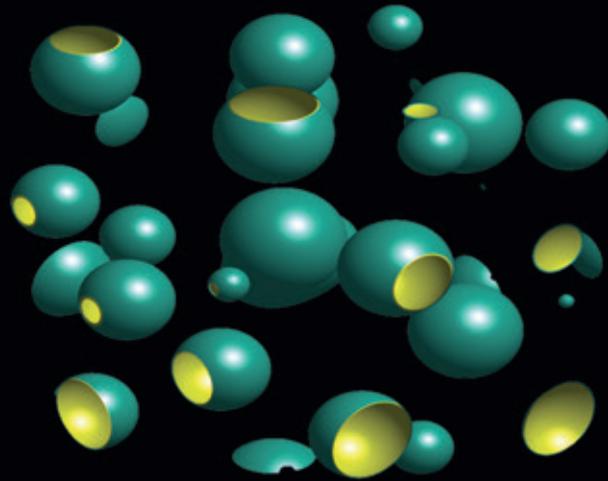
Polyester-basierte Partikel eignen sich dank ihrer Biokompatibilität und Abbaubarkeit in physiologischer Umgebung besonders als Nanotransporter für Wirkstoffe, die zeitverzögert freigesetzt werden sollen, um das betroffene Gewebe kontinuierlich mit Wirkstoffen zu versorgen.

Durch Zugabe von anorganischen Nanopartikeln (z. B. Eisenoxid, Quantum Dots, Siliziumdioxid) in die dispergierte organische Phase, konnten wir Hybrid-Nanopartikel erzeugen, die spezifische Eigenschaften der Polymeren und der enthaltenen anorganischen Materialien kombinieren. Wir haben die kontinuierliche Synthese von nanoskaligen Trägersystemen etabliert, welche bei der Bildgebung und in der Therapie (z. B. „Drug Delivery“) verschiedener Erkrankungen eingesetzt werden können. Unsere Polymersome, die sowohl mit einem Zytostatikum als auch mit magnetischen Nanopartikeln beladen werden können, eignen sich zur zielgenauen Wirkstoffabgabe und ermöglichen gleichzeitig die Überwachung der Behandlungsmethode. Dies macht sie zu einem interessanten Kandidaten für die Pharmaindustrie.

### Kontakt

Prof. Dr. Michael Maskos  
Abteilung Nanopartikel Technologien  
Telefon +49 6131 990-111  
michael.maskos@imm.fraunhofer.de





# ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

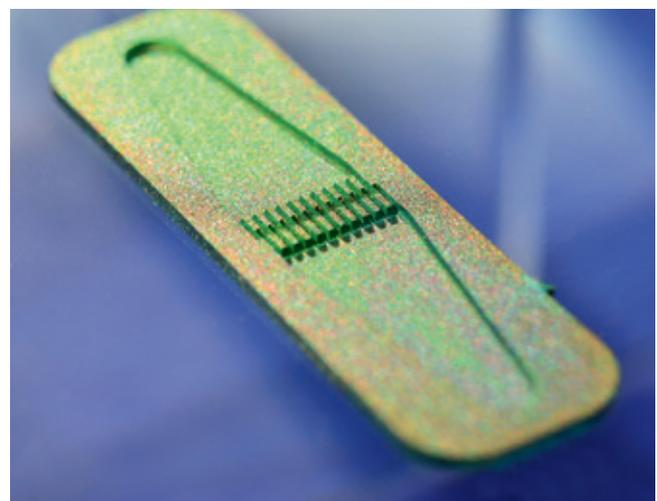
Gerade für ein Forschungs- und Entwicklungsinstitut ist es unerlässlich, ständig den Fokus der F&E Aktivitäten auf die wirtschaftlich und gesellschaftlich relevanten Themen neu auszurichten. Der Bereich Zukunftstechnologien wird am Fraunhofer ICT-IMM deshalb von zwei Themen geprägt: Geschäftsfeldentwicklung und Simulation. Damit verknüpfen wir das Entwickeln zielgerichteter Maßnahmen zur Weiterentwicklung unseres Instituts mit der Möglichkeit, diese vor ihrer Implementierung auf Herz und Nieren zu testen. In diesem Zuge wird in besonderem Maße die Vernetzung mit der Industrie sowie akademischen Partnern von Universitäten und Hochschulen gepflegt und ausgebaut. So können auch im Rahmen von Promotionsarbeiten innovative Entwicklungen untersucht und angestoßen werden.

In einer aktuellen Promotion wird beispielsweise ein mathematisches Modell zur Simulation der kontinuierlichen Nanopartikelerzeugung mit Mikromischern entwickelt. Diese Methode zur Nanopartikelherstellung erlaubt es, die für Anwendungen extrem relevante aber nur schwer messbare Partikelgröße über die leicht kontrollierbare Flussrate durch den Mischer zu steuern.

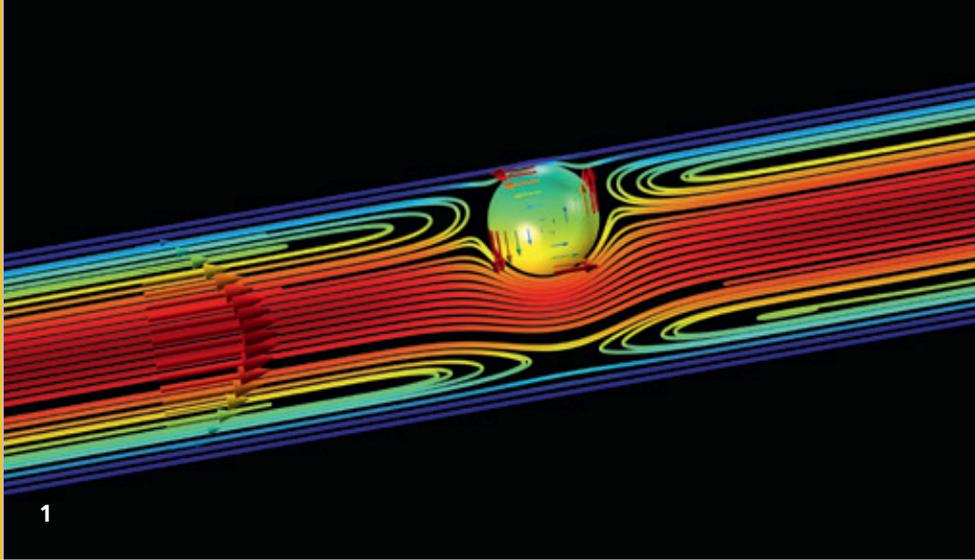
Zur mathematischen Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Partikelgröße und Flussrate wird die dynamische Dichtefunktionaltheorie für Polymerlösungen mit theoretischen Modellen für das Mischverhalten von Mikromischern gekoppelt. Das zugehörige Gleichungssystem wird unter anderem durch Spektralmethoden numerisch gelöst, und anschließend wird die Größenverteilung der in den Simulationen entstandenen Partikel mit Hilfe verschiedener morphologischer Maße untersucht.

Motiviert wurde diese Promotionsarbeit durch experimentelle Untersuchungen in der Abteilung Nanotechnologien. Das entwickelte Modell kann die experimentellen Resultate gut reproduzieren und erlaubt zudem Vorhersagen über die Ab-

hängigkeit der Nanopartikelgröße von verschiedenen Prozessparametern, was die Grundlage zur experimentellen Optimierung des Prozesses darstellt. Dieses Beispiel demonstriert eine Besonderheit der Simulation am Fraunhofer ICT-IMM: Sie steht immer im direkten Wechselspiel mit der experimentellen Verifikation und dem technologischen Prototyping.



Mikrostruktur eines Interdigitalmischers



1 Simulation zur Dynamik  
ausgedehnter Partikel im  
laminaren Strömungsprofil

## SIMULATION DER DYNAMIK VON PARTIKELN IN MIKROKANÄLEN

Es gibt eine Vielzahl von Anwendungen, bei denen Partikel in einer Flüssigkeit detektiert werden sollen. Dabei spielt das Sortieren von Partikeln hinsichtlich bestimmter Charakteristika, wie z. B. ihrer Größe, eine wichtige Rolle. Die hierzu verwendeten Verfahren beruhen häufig auf der hydrodynamischen Ablenkung von Partikeln im Strömungsprofil strukturierter mikrofluidischer Kanäle.

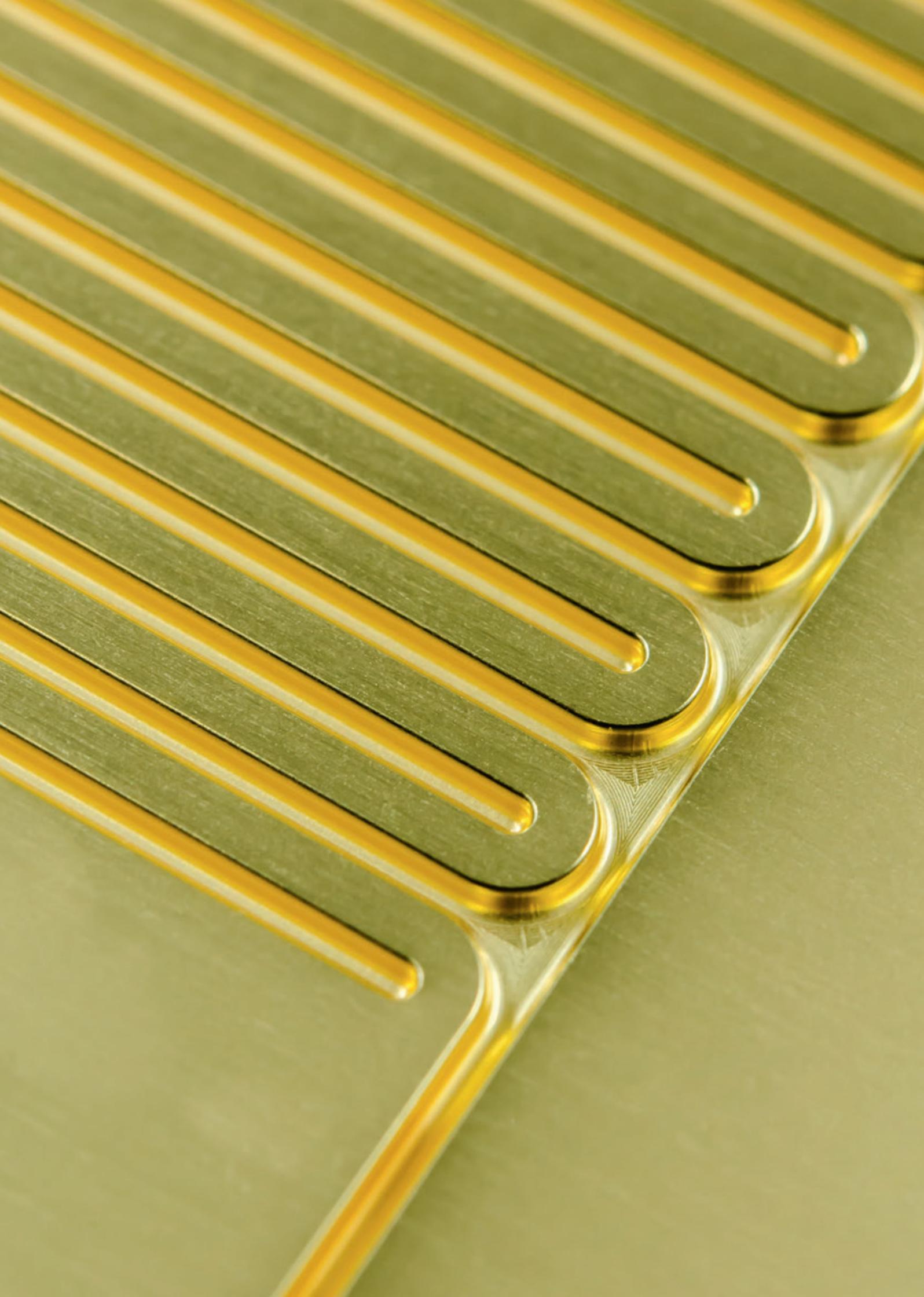
Bei der Optimierung solcher speziell designten mikrofluidischen Strukturen ist es hilfreich, die Dynamik der Partikel im Strömungsprofil berechnen zu können. Dies ist insbesondere dann herausfordernd, wenn die Partikel nicht mehr als Massepunkte zu behandeln sind, also wenn z. B. ihre Größe oder Verformbarkeit das Ergebnis beeinflussen. Ein Beispiel hierfür ist der sogenannte Segré-Silberberg Effekt (SSE), der auf der Trägheit des Fluids und dessen Wechselwirkung mit den Partikeln beruht. Beim SSE migrieren Partikel in einem laminaren Strömungsprofil bei ausreichend hoher Reynoldszahl quer zur Strömungsrichtung bis hin zu einer lateralen Gleichgewichtsposition. Letztere hängt zwar von der Größe der Partikel ab, nicht jedoch vom lateralen Eintrittsort über der Kanalbreite. Folglich kann der SSE auch zum Sortieren nach der Partikelgröße verwendet werden.

Ein am Fraunhofer ICT-IMM entwickeltes, neuartiges Messverfahren kann nun erstmalig die Geschwindigkeit der Partikel in der Gleichgewichtslage sehr exakt bestimmen, wodurch sich auch auf die Größe der Partikel mit sehr hoher Genauigkeit zurückschließen lässt. Jedoch erlaubt es diese Messmethode nicht, gleichzeitig auch noch die tatsächliche Gleichgewichts-

position zu bestimmen. In Kooperation mit der Hochschule RheinMain haben wir deshalb ein auf der Finite-Elemente Methode (FEM) basierendes Modell entwickelt, das die experimentell bestimmte Größenabhängigkeit der Gleichgewichtsgeschwindigkeit beim SSE innerhalb der experimentellen Fehlergrenzen von unter 1 % reproduzieren kann. Mit diesem Modell können wir nun auch die Gleichgewichtsposition als relevante Größe zum Sortieren verschiedener Partikelpopulationen bestimmen.

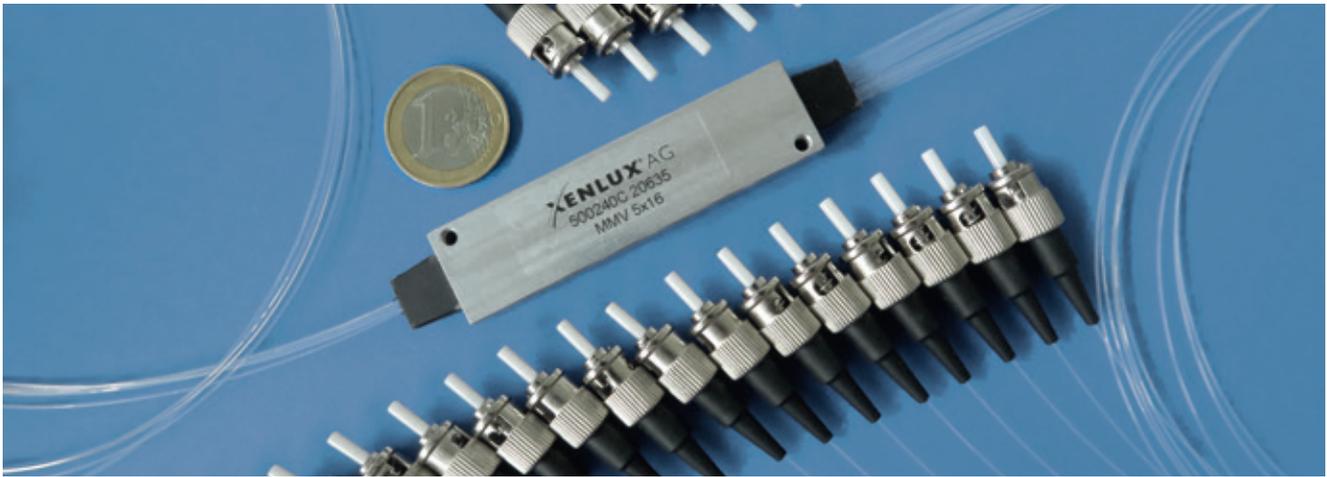
### Kontakt

Dr. Klaus Stefan Drese  
Abteilungsleiter Zukunftstechnologien  
Telefon +49 6131 990-170  
klaus.drese@imm.fraunhofer.de





# HIGHLIGHTS



# LUXKOP – POLYMER-WELLENLEITERKOPPLER FÜR ANWENDUNGEN IN DER ENERGIE-TECHNIK UND IN FAHRZEUGEN

## Kostengünstiger Weg zur Signalübermittlung

Werden Lichtwellenleiter zur Signalübertragung eingesetzt, ist es das Ziel, die von einer Laserdiode übertragenen Signale möglichst zeitgleich an mehrere Empfänger zu übermitteln. Dazu dienen sogenannte NxM Mehrportkoppler oder Verzweiger mit Teilungsverhältnissen von 1x5, 1x6, 1x8, 1x16, 1x32, ..., die mit verschiedenen Glasfasern kombiniert werden können. Auf Wunsch des Auftraggebers sollte eine spezielle Hard Clad Silica (HCS) Faser genutzt werden. Aufgrund der engen Platzverhältnisse in den Applikationen bietet sich der Einsatz von Polymerwellenleiterstrukturen an, die mittels Heißprägeverfahren über eine hochpräzise Ni-Prägeform (basierend auf SU8-Lithographie) mit optischen Eigenschaften kostengünstig abgeformt werden können.

## Ergebnisse und Ausblick

Mögliche optische Designs wurden zunächst mit einer Strahlverfolgungssoftware charakterisiert, hinsichtlich Einfügedämpfung und Uniformität optimiert und anschließend in einem neuartigen, auf dem Fotoresist SU8 basierenden, kostengünstigen Lithografieprozess (keine teure Maskentechnik) umgesetzt. Die so erzeugten Formen wurden mittels Ni/Cu-Galvanik abgeformt, die Ni/Cu-Formen dienten wiederum als Prägestempel zur erneuten Abformung im Polymer PMMA. Die Polymerbauteile sind so ausgelegt, dass eine passive Montage der HCS-Glasfasern erfolgen kann, mit anschließender Befüllung der Struktur mit einem fotoaushärtbaren Resist. Dieser fungiert

nach der Aushärtung als Wellenleiter. So konnten auch die Verzweiger für die HCS-Fasern hergestellt werden, für welche die Schmelzkopplertechnologie aufgrund des Kunststoffcladdings nicht anwendbar ist.

Die mittels optischer Strahlverfolgungssimulation erhaltenen Werte decken sich unter Berücksichtigung der Toleranzen sehr gut mit den gemessenen Werten. Das Design für einen 5x16-Verzweiger konnte damit so weit optimiert werden, dass eine mittlere Einfügedämpfung von  $< 15,5$  dB und eine Uniformität von  $< 3,5$  dB erreicht wurde. Die Ni-Formen mit  $215 \mu\text{m}$  Strukturhöhe konnten kostengünstig und zeitsparend hergestellt werden. Die Technologie der Wellenleitermontage wurde erfolgreich an den Kunden übertragen, so dass dieser nach Verfeinerung in der Lage ist, größere Stückzahlen selbst herzustellen.

Multimodige Polymerwellenleiter können auch für Anwendungen im Bereich der Tele- und Datenkommunikation (optische Backplanes) sowie der wellenleiter-basierten Sensorik eingesetzt werden.

## Kontakt

Dr. Thomas Klotzbücher  
Laser & Optik  
Telefon +49 6131 990-143  
thomas.klotzbuecher@imm.fraunhofer.de

# MICRO4NANO – KONTINUIERLICHE SYNTHESE VON NANOPARTIKELN

## Vom Labor- zum Produktionsmaßstab

Am Fraunhofer ICT-IMM wurde ein Hochtemperaturreaktor zur kontinuierlichen Synthese von Nanopartikeln entwickelt, mit dem Quantum Dots auf sehr kontrollierte Weise in einem kontinuierlichen Prozess hergestellt werden können. Die Eigenschaften, insbesondere die Größe und Größenverteilung der Partikel, können durch die Prozessparameter eingestellt werden. In einem zweiten, kontinuierlichen Verfahrensschritt können die Partikel größer gewachsen oder mit einer zusätzlichen Schale aus einem anderen Material versehen werden. So lässt sich grundsätzlich die Partikelform kontrollieren, und z. B. auch Quantum Rods mit unterschiedlichem Aspektverhältnis (Länge / Durchmesser) herstellen.

## Ergebnisse und Ausblick

Zur Echtzeit-Prozesskontrolle verfügt der Reaktor über drei optische Durchflussszellen, mit denen sich während des Prozesses UV-VIS Spektren aufnehmen lassen, um zeit- und ortsgebundene Informationen über die Partikelgröße und -qualität zu erhalten. So können im laufenden Prozess die Prozessparameter so eingestellt werden, dass das Produkt über die gewünschten Eigenschaften verfügt. Im Falle der Quantum

Dots kann die Wellenlänge des die Fluoreszenzfarbe bestimmenden Excitonpeaks mit einer Genauigkeit von  $< 0,5$  nm eingestellt werden. Während bei Batchverfahren die Reproduzierbarkeit und ggf. auch Skalierbarkeit problematisch sein kann, erlaubt die Nachregelung im kontinuierlichen Verfahren die Herstellung von Materialien mit reproduzierbarer bzw. konstanter Qualität.

Da es sich bei der Synthese von Quantum Dots (Temperaturen bis ca.  $380$  °C erforderlich) um einen generischen Prozess handelt, ermöglicht der modulare Aufbau von Reaktor und Versuchsanlage eine verhältnismäßig einfache Anpassung an andere Partikelsynthesen. Mit dem gleichen oder mit sehr ähnlichen Prozessen kann auch eine Vielzahl anderer Materialien hergestellt werden, d. h. Metallpartikel (z. B. Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Cu, Ni), Oxid- und andere anorganische Nanopartikel (z. B.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , MnO, ZnO,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaSO}_4$ , Hydroxylapatit) sowie Polymerpartikel und Lipo- bzw. Polymersome.

Während bei den Quantum Dots cadmiumbasierte Materialsysteme wie CdSe bisher am besten erforscht sind, geht der Trend unserer Entwicklungsarbeiten bei den Anwendungen trotz hochwertiger, optisch aktiver Eigenschaften eindeutig zu umweltfreundlicheren, cadmiumfreien Materialien.



Wachstum durch Innovation – EFRE



Rheinland-Pfalz



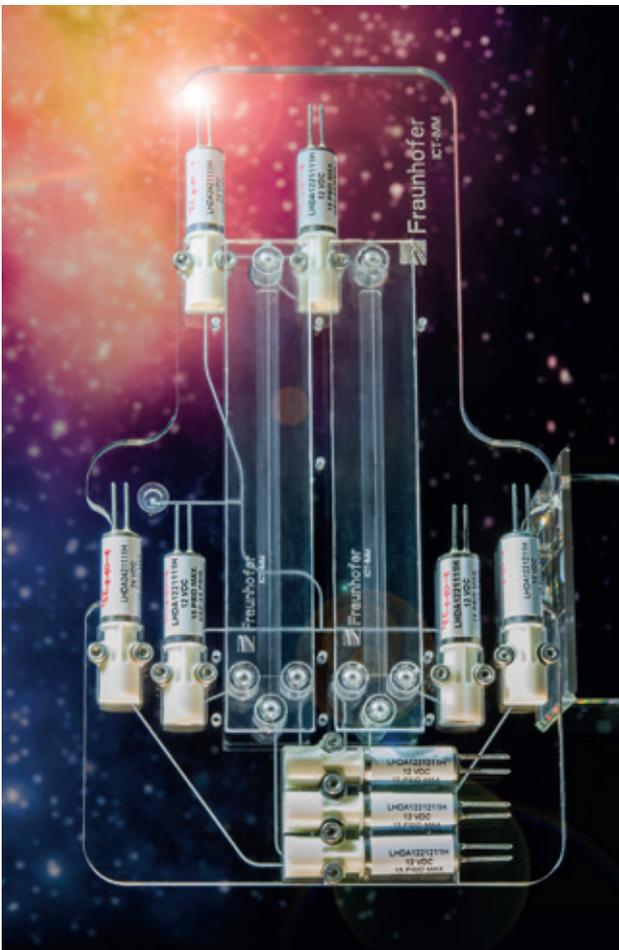
## Kontakt

Dr. Ralph Sperling  
Nanoanalytik  
Telefon +49 6131 990-246  
ralph.sperling@imm.fraunhofer.de

# IONOZELL – AUTOMATISIERTE IONENANALYTIK MITTELS CHIPBASIERTER ELEKTROPHORESE

## Wachstumskontrolle im Weltraum

In Sachen Ressourcen und Erhaltung unserer Umwelt wird die Menschheit langfristig an Grenzen stoßen. So sind Bemühungen naheliegend, das Überleben auch in an sich lebensfeindlichen Umgebungen zu ermöglichen. Dazu gehört zum Beispiel die Versorgung einer Besatzung von monate- oder jahrelangen Raumfahrtmissionen mit Nahrung. Dies wiederum führt zu Fragestellungen rund um das Wachstum von Nutzpflanzen bei reduzierter Schwerkraft und um deren langfristige Versorgung mit Nährstoffen. Mit diesen Punkten beschäftigen sich das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und die Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) in einer für 2017 geplanten einjährigen Satellitenmission.



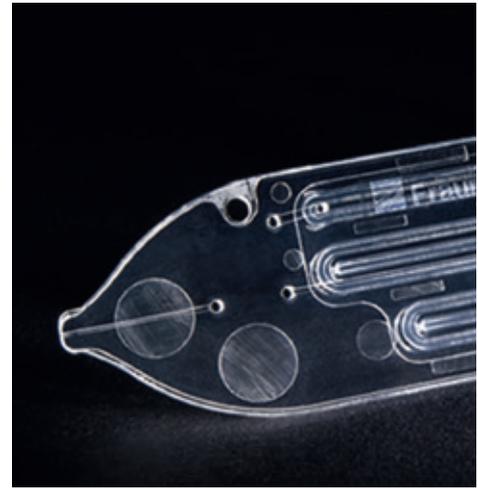
Dabei wird ein Verfahren getestet, bei dem Urin biologisch in Nährstoffe umgewandelt wird, die zum Wachstum von Tomatenpflanzen beitragen sollen. Das Fraunhofer ICT-IMM entwickelt hierbei ein vollautomatisiertes Ionenanalysesystem, welches mittels der chipbasierten Elektrophorese die Ionenkonzentrationen nach dem Umwandlungsprozess bestimmt: Die Ionen werden dabei in einem Mikrokanal durch eine angelegte Hochspannung beschleunigt und erreichen aufgrund ihrer verschiedenen Mobilitäten den Detektor zu unterschiedlichen Zeiten. Dies äußert sich im Messsignal durch ionenspezifische Peaks anhand derer auf die Ionenkonzentration zurückgeschlossen werden kann.

## Ergebnisse und Ausblick

Bei dem am Fraunhofer ICT-IMM entwickelten Gerät zur Ionenanalyse werden sämtliche Schritte von der Proben- bis zur Datennahme vollständig automatisiert durchgeführt. Zudem zeichnet sich das System durch sein geringes Gewicht und kompaktes Design aus: In einem Bauraum von nur 25 x 23 x 10 cm befinden sich zwei identische Analysemodule und das Gesamtsystem wiegt nur 2,2 kg. Jedes Modul ist aus einer Probennahmeeinheit und einem mikrofluidischen Verteilerchip sowie aus zwei Elektrophoresechips aufgebaut. Zusätzlich enthält es die Steuerelektronik, eine Hochspannungsquelle und die Detektionseinheit. Letztere basiert auf der kontaktlosen Leitfähigkeitsmessung (C4D). Zur Lagerung der flüssigen Analysereagenzien wurden am Fraunhofer ICT-IMM zudem spezielle Beutel aus Aluminiumverbundfolie entwickelt, die die Verdunstungsverluste minimieren. Grundsätzlich ist das gesamte System gut als Prozesssteuerung im Sinne von Industrie 4.0 geeignet.

## Kontakt

Dr. Sabine Alebrand  
Modellierung  
Telefon +49 6131 990-395  
sabine.alebrand@imm.fraunhofer.de



# CTSelect – AUTOMATISIERTE ISOLIERUNG UND NACHWEIS VON FREI ZIRKULIERENDEN TUMORZELLEN AUS PATIENTENBLUT

## „Flüssige Biopsie“ und neue Ansätze in der Krebsdiagnostik

Die „Flüssige Biopsie“ (engl. Liquid Biopsy) ist aktuell ein vielversprechender Ansatz für die Diagnostik, Überwachung und individualisierte Therapie von Krebspatienten. Dabei können aus einer herkömmlichen Blutprobe Krebs-assoziierte Biomarker nachgewiesen werden. Hierzu zählen frei zirkulierende Tumorzellen (CTCs), zirkulierende Tumor-DNA (ctDNA) und Exosomen. Das nachfolgende Next Generation Sequencing und die Sequenzanalyse der Nukleinsäuren der Biomarker sollen in Konsequenz Maßnahmen der individualisierten Therapie ermöglichen.

Im Rahmen eines BMBF Fördervorhabens hat das ICT-IMM ein Mikrofluidik-basiertes System („CTSelect“) zur Anreicherung und Einzelzell-Analyse von zirkulierenden Tumorzellen entwickelt. Das Gerät ermöglicht die Anreicherung, Detektion und Einzelzell-Dispensierung von CTCs aus Patientenblut (7,5 ml).

## Ergebnisse und Ausblick

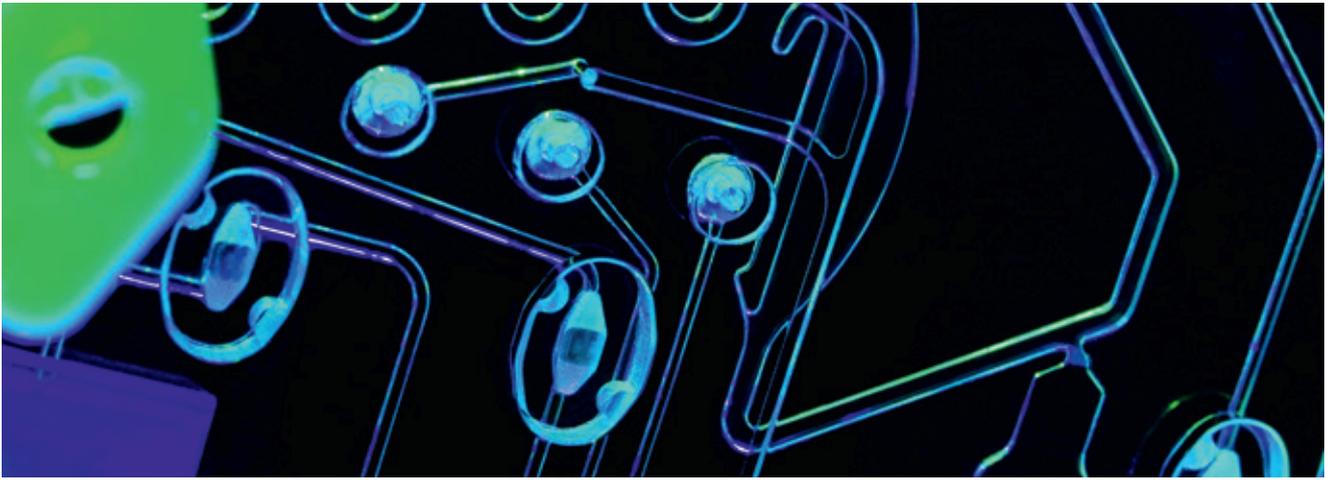
Das CTSelect Gerät (Abbildung oben) integriert eine Pipettier-einheit zur vollautomatischen, immuno-magnetischen Anreicherung von CTCs direkt aus dem Patientenblut mit anschließender spezifischer Fluoreszenzmarkierung der isolierten Zellen sowie eine mikrofluidische Kartusche, in der die CTCs mittels Durchflusszytometrie detektiert und einzeln

mit einem „Single-Cell-Dispenser“ in eine 96-well Mikrotiterplatte abgelegt werden.

Ende 2015 wurde der Prozessierungsablauf in der Software finalisiert und das System für einen Feldtest mit echten Patientenproben bei einem Projektpartner vorbereitet. Die Ergebnisse der Teilmodule des Systems waren bisher äußerst vielversprechend. Es ist möglich aus einer 7,5 ml Blutprobe (enthält ca.  $4 \times 10^{10}$  Blutzellen) von 20 markierten Zellkulturzellen 14-17 Zellen wiederzufinden. Das beweist die Leistungsfähigkeit des Systems. Darüber hinaus können auch Exosomen aus Blutplasma mit diesem Gerät angereichert werden. Ein Protokoll zur automatisierten Isolierung von ctDNA ist gerade in Arbeit. Gemäß der Rückmeldung von Anwendern im Bereich der medizinischen Forschung schließt der Funktionsumfang des CTSelect Systems genau eine Lücke, die von konkurrierenden Systemen bisher noch nicht abgedeckt wird. Die Feldtestergebnisse werden daher mit Spannung erwartet.

## Kontakt

Dr. Ralf Himmelreich  
Biodiagnostik  
Telefon +49 6131 990-492  
ralf.himmelreich@imm.fraunhofer.de



# D-LIVER – IKT-UNTERSTÜTZTES, ZELLULÄRES, KÜNSTLICHES LEBER-SYSTEM ZUM PERSONALISIERTEN PATIENTENMANAGEMENT

## Chronische Lebererkrankungen

Das Forschungsprojekt „d-LIVER“ wurde im 7. Rahmenprogramm der EU gefördert. Ziel war die medizinische Beobachtung und Überwachung von Patienten mit chronischen Lebererkrankungen in deren privaten Umfeld. Im Verbund mit 14 europäischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen wurde ein Gesamtsystem entwickelt, das aus einem zellbasierten Leberunterstützungssystem, einer häuslichen Monitoring-Plattform und einem übergeordneten Informationssystem für die telemedizinische Versorgung der Patienten besteht.

## Ergebnisse und Ausblick

Kernaufgabe des Fraunhofer ICT-IMM war die Entwicklung eines vollautomatisierten, mikrofluidischen Analysechips zur Bestimmung verschiedener, klinisch relevanter Blutparameter. Der im Spritzgussverfahren hergestellte, kreditkartengroße Chip erlaubt eine einfache Probenaufnahme des Vollbluts wie bei einer herkömmlichen Blutzuckermessung. Nach der optischen Ermittlung der Gerinnungszeit des Blutes wird dem Vollblut das Serum entzogen. Die nachfolgende elektrochemische Analyse der unten genannten Parameter wird auf in den Analysechip integrierten Leiterplatten durchgeführt. Aus einem Tropfen Vollblut, den sich der Patient einmal täglich selbst entnimmt, werden so sechs Blutparameter (Gerinnungszeit, Kalium, Natrium, Kreatinin, Bilirubin und Albumin) innerhalb von 20 Minuten parallel ermittelt. Die Daten werden an den betreuenden Arzt übertragen, der so

die Entwicklung der Leberfunktion des Patienten beurteilen und schnell auf etwaige Veränderungen reagieren kann. Es konnte gezeigt werden, dass komplexe analytische Protokolle durch Vereinfachung und Anpassung an die mikrofluidische Situation zur Reduzierung der Komplexität des Chips sowie des Betreibergerätes führen.

In ersten klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass die Akzeptanz von solchen Systemen bei den Patienten sehr stark von der Komplexität der durchzuführenden Schritte abhängt. Da sich die Messung der Blutwerte in nur drei einfachen und zudem angeleiteten Schritten durchführen lässt, wurde das d-LIVER System von der Mehrheit der Patienten akzeptiert. Auch die Durchführbarkeit paralleler Messungen konnte erfolgreich gezeigt werden.

In Zukunft können die Entwicklungen des d-LIVER Systems die kontinuierliche Patientenüberwachung im eigenen Zuhause und somit die Lebensqualität der betroffenen Patienten stark verbessern.

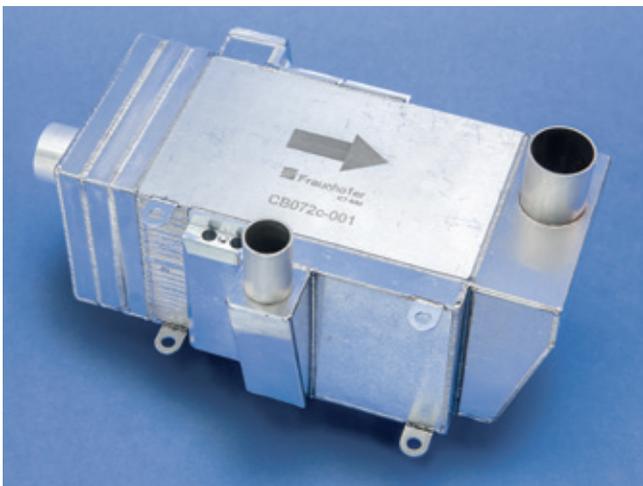
## Kontakt

Dr. Michael Baßler  
Biophysikalische Analytik  
Telefon +49 6131 990-399  
michael.bassler@imm.fraunhofer.de

# GOBIGGS – TANKINERTISIERUNG FÜR LUFTFAHRZEUGE

## Explosionsgefahr im Flugzeugtank

Im Rahmen der Kooperation mit einem Luftfahrtzulieferer entwickelt der Produktbereich Dezentrale und Mobile Energietechnik des ICT-IMM einen Reaktor für die Inertisierung der Kerosintanks von Luftfahrzeugen. Der nicht gefüllte Tankbereich enthält ein Gemisch von Kerosin und Luft, das eine hohe Explosionsgefährdung darstellt. Durch Abreicherung des Sauerstoffgehaltes der Luft auf Werte unterhalb von ca. 10 Vol. % kann diese Gefährdung vollständig vermieden werden.



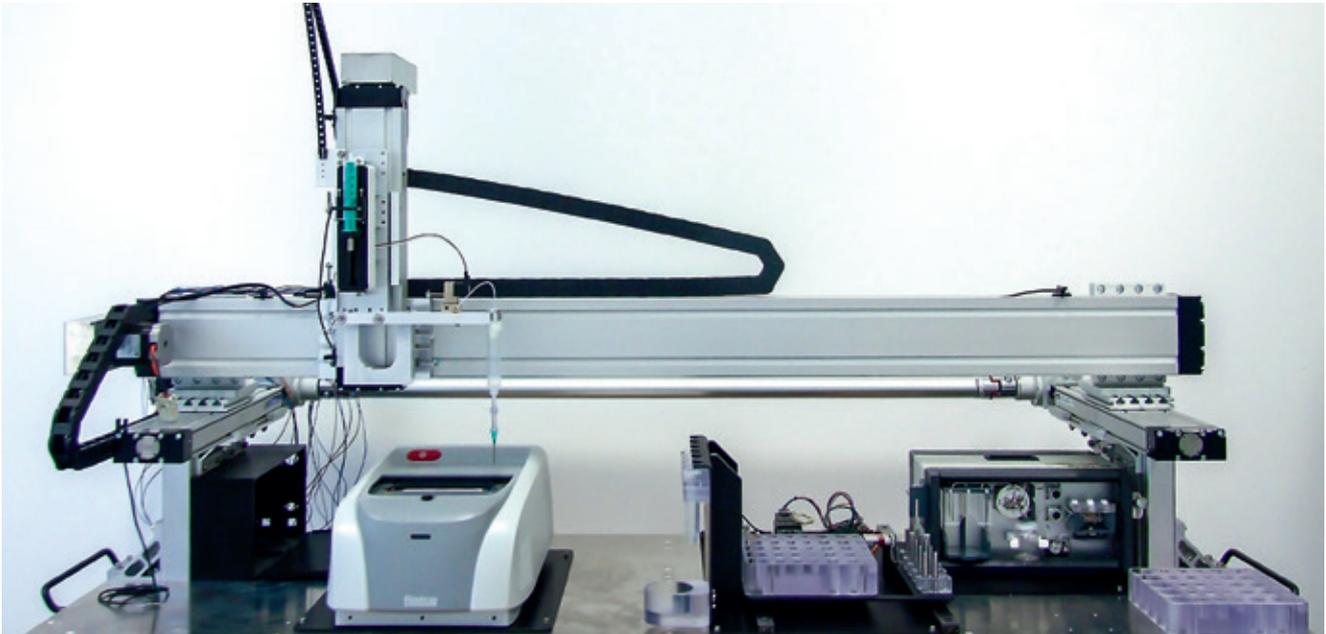
## Ergebnisse

Das ICT-IMM entwickelte einen Reaktor, der den im Tankraum enthaltenen Sauerstoff durch katalytische Verbrennung des ebenfalls vorhandenen Kerosins verbraucht und damit dessen Gehalt im Gasmisch auf Werte unterhalb der Explosionsgrenze abreichert. Die Reaktion findet in einem vom ICT-IMM entwickelten mikrostrukturierten Plattenwärmeübertrager-Reaktor statt, dessen Mikrokanäle mit einer Katalysatorbeschichtung zur Verbrennung des Kerosins versehen sind. Je nach Größe des zu inertisierenden Tanks entsteht dabei eine erhebliche Menge von Reaktionswärme, die aus dem Reaktor durch Luftkühlung abgeführt wird. Die Reaktoren werden aus Aluminiumlegierungen gefertigt, was den Anforderungen bezüglich des Systemgewichts entgegenkommt. Die Prototypen bestehen aus mittels Ätztechnik mikrostrukturierten Aluminiumplatten, welche nach der Beschichtung mit Katalysator am Institut mit dem Laser verschweißt werden.

Im Rahmen der Kooperation wurden mehrere Reaktoren in Komplettsysteme integriert und bereits mit großem Erfolg im Bodentest in einem Luftfahrzeug getestet. Unser Kooperationspartner entwickelte die Leistungselektronik, die Steuerung, die Gesamtkonzeption und die Integration des Gesamtsystems, das noch eine Reihe weiterer Komponenten wie Wärmeübertrager und Kondensatoren enthält.

## Kontakt

Prof. Dr. Gunther Kolb  
Dezentrale & Mobile Energietechnik  
Telefon +49 6131 990-341  
gunther.kolb@imm.fraunhofer.de



## WISLOC15 – AUTOMATISIERUNG DES NACHWEISES VON PATHOGENEN AUS LUFTKEIMSAMPLERPROBEN

### Automatisierte Probenaufarbeitung und Probenaufgabe in molekulargenetischen und immunologischen Detektionsgeräten

Ein sensibler Nachweis von biologischen Kontaminationen (Bakterien, Viren oder Toxinen) ist für viele Anwendungsgebiete im Rahmen der Raumlufthygiene und der zivilen Sicherheit relevant (Überwachung der Luft bei der Lebensmittelproduktion, von Lüftungsanlagen in Krankenhäusern oder Arbeitsstätten sowie die sicherheitstechnische Überwachung von Umgebungsluft). Da das initiale Probenvolumen relativ hoch ist, wird zunächst eine Aufkonzentrierung der biologischen Agenzien durchgeführt. Im Auftrag für das Wehrwissenschaftliche Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz, Munster (WIS), erarbeitete das ICT-IMM eine Automationslösung für diese Problematik und integrierte gleichzeitig fortschrittliche Detektionssysteme in den Aufbau.

### Ergebnisse und Ausblick

Luftkeimsammler scheiden Partikel aus der Luft in eine wässrige Probe ab und sind Standardsysteme zum Sammeln von Pathogenen und Toxinen. Zum Nachweis von Bakterien und Viren nutzt man routinemäßig molekulargenetische Systeme, die auf Nukleinsäureamplifikation mittels Polymerase-Kettenreaktion basieren. Zum Nachweis von Toxinen werden immunologische

Detektionsmethoden genutzt. Beide Ansätze können allerdings nur wenige hundert Mikroliter Probenvolumen verarbeiten und besitzen meist keine integrierte Probenvorbereitung. Der am ICT-IMM neu entwickelte Ansatz adressiert den Bedarf eines komplett automatisierten Nachweises von Toxinen und Pathogenen in einem einzigen System. Die Luftkeimsammlerprobe wird geteilt und die Toxine und Pathogene werden jeweils mit einer eigenen proprietären Methode aufkonzentriert. Nach der Anreicherung der jeweiligen Analyten werden beide Geräte mit den Proben beladen und der spezifische Nachweis wird gestartet. Durch diese Anreicherung der Krankheitserreger sowie der Toxine werden gleichzeitig von der Umweltprobe stammende, störende Inhibitoren entfernt. Versuche mit den Bakterien *E. coli* Migula und *E. coli* O157:H7 sowie dem Protein Ovalbumin erzielten eine hohe Anreicherungs-effizienz und ermöglichten Aufkonzentrierungen in nur wenigen hundert Mikrolitern.

### Kontakt

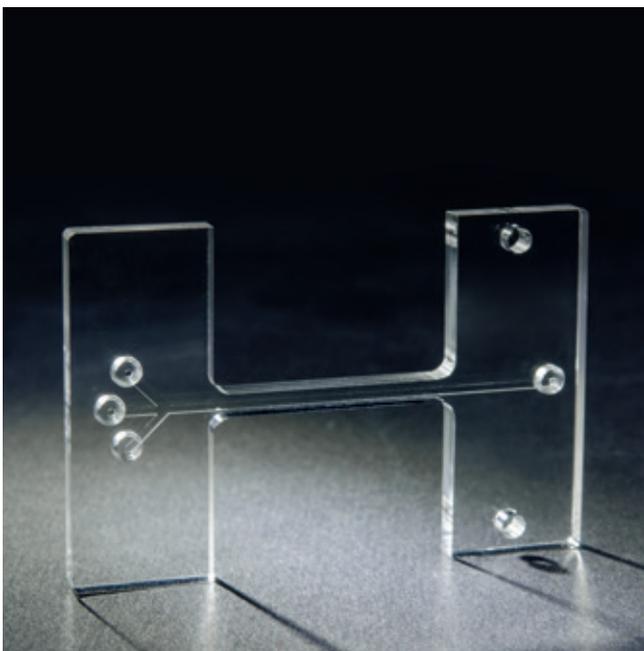
Rainer Gransee  
Fluidik  
Telefon +49 6131 990-390  
[rainer.gransee@imm.fraunhofer.de](mailto:rainer.gransee@imm.fraunhofer.de)

# NANOSCH – ANALYSE DER INTERAKTION VON NANO- PARTIKELN MIT BLUTBESTANDTEILEN

## Bildung der nanopartikulären Proteinkorona unter Durchflussbedingungen

Gelangen Nanopartikel (NP) in eine biologische Umgebung, z. B. nach Injektion von nanopartikulären Wirkstoffträgern in ein Blutgefäß, so interagieren diese unmittelbar mit den dort anwesenden Proteinen. Dies führt zur Ausbildung einer Proteinkorona, die den NP ihre biologische Identität verleiht, welche für das weitere Schicksal der Nanoträger im Körper von entscheidender Bedeutung ist. Erkenntnisse hinsichtlich Zusammensetzung und Evolution der Proteinkorona sind erforderlich, um im Rahmen einer personalisierten Medizin effiziente Nanotherapeutika gegen bislang unheilbare Krankheiten zu entwickeln.

Ziel des Projektes ist daher die Realisierung eines mikrofluidischen Systems (artifizieller Blutkreislauf), welches die Analyse der Entwicklung der Proteinkorona unter in-vivo nahen Bedingungen ermöglicht.



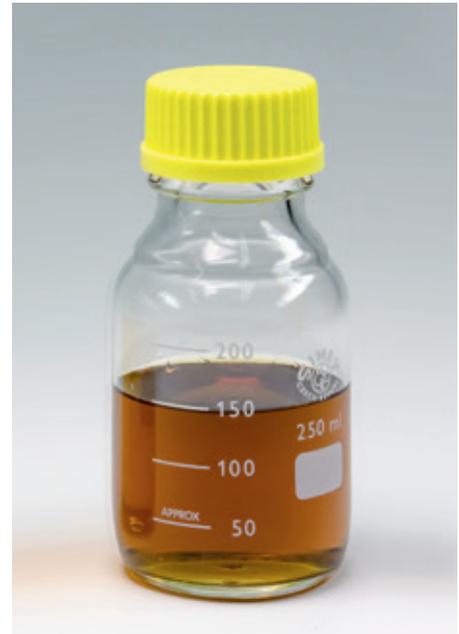
## Ergebnisse und Ausblick

Zunächst wurde ein Versuchsstand zur gezielten Exposition von magnetischen NP gegenüber Blutplasma unter realitätsnahen Durchflussbedingungen aufgebaut, der aus Hochpräzisionspumpen zur Beförderung der NP-Dispersion, Blutplasma und Waschpuffer, einer Steuereinheit mit speziell entwickelter Software und einer Transfereinheit besteht. Die Transfereinheit enthält einen mobilen Tisch mit zwei starken Permanentmagneten, der diese millimetergenau an den mikrofluidischen Kanal heranzufahren kann. Des Weiteren können alle Versuchsparameter, wie z. B. Flussraten und Dauer der Partikelanreicherungs-, der Expositions- und der Waschphase bereits vor dem Experiment programmiert werden, so dass die sekundengenaue Blutplasma-Exposition der NP vollautomatisiert, unter identischen und reproduzierbaren Bedingungen abläuft.

Nach der Exposition wurde mithilfe der analytischen Scheibenzentrifugation eine deutliche Zunahme des NP-Durchmessers detektiert. Bei anschließenden massenspektrometrischen Analysen der dynamischen Proteinkorona durch den Projektpartner von der Universitätsmedizin Mainz konnte bereits eine Anreicherung spezifischer Plasmaproteine auf der NP-Oberfläche nachgewiesen werden. In weitergehenden Analysen soll nun geprüft werden, inwiefern sich die dynamische Proteinkorona nach kurzzeitiger Exposition gegenüber Blutplasma verändert.

### Kontakt

Dr. Oliver Zupke  
Nanopartikelsynthese  
Telefon +49 6131 990-421  
oliver.zupke@imm.fraunhofer.de



# BIODIESEL2 – BIODIESELSYNTHESE UNTER ÜBERKRITISCHEN BEDINGUNGEN

## Verwertung nicht nahrungsrelevanter Stoffe

Die Herstellung von Biodiesel aus nicht nahrungsrelevanten Stoffen wie Abfallölen, gebrauchten Speiseölen und Tierfetten ist mit den herkömmlichen Syntheseverfahren für Biodiesel schwer handhabbar. Daher führt das ICT-IMM seit einigen Jahren Forschungsarbeiten im Bereich der Synthese von Biodiesel unter erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur durch.

## Ergebnisse und Ausblick

Unter diesen überkritischen Bedingungen erfolgt die Umsetzung der Problemeinsatzstoffe mit geringeren Schwierigkeiten, was durch den Einsatz heterogener Katalysatoren weiter verbessert wird. Der stabile Betrieb neuartiger Katalysatorformulierungen konnte im Langzeittest verifiziert werden. Durch die Prozessintensivierung konnten die erforderlichen Verweilzeiten bis in den Sekundenbereich reduziert werden, was auch die Größe der Reaktoren entsprechend verringert.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen war das Ziel der Forschungsarbeiten nun der Betrieb einer kompletten Kleinanlage, die den gesamten Produktionsprozess inklusive der Reinigungsschritte abbildet und auch eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens erlaubt. Gewonnen wurden die Ergebnisse im Labormaßstab und auch aus dem früheren EU Projekt CoPIRIDE,

in dem ein Testreaktor mit rund 200 ml Reaktorinnenvolumen für die Integration in einen Bypass-Strom einer Miniplant-Anlage für die Biodieselerstellung bei bis zu 200 bar und 400 °C von Fraunhofer ICT-IMM entwickelt wurde.

Auf der Basis von statischen Verfahrenssimulationen mittels ASPEN wurde ein Verfahren zur Methanolabtrennung unter Kopplung von Vakuumverdampfung und einstufiger Rektifikation entwickelt, was den Energieverbrauch des Gesamtverfahrens erheblich reduzierte.

Für die Kleinanlage wurde ein Interdigitalmischer und als Hochdruckwärmeübertrager ein verlöteter Plattenwärmetauscher eingesetzt (beides ICT-IMM-Entwicklungen). Mit den bisherigen Versuchen in der Kleinanlage konnte gezeigt werden, dass die überkritische Biodieselerstellung verfahrenstechnisches und wirtschaftliches Potential besitzt.

## Kontakt

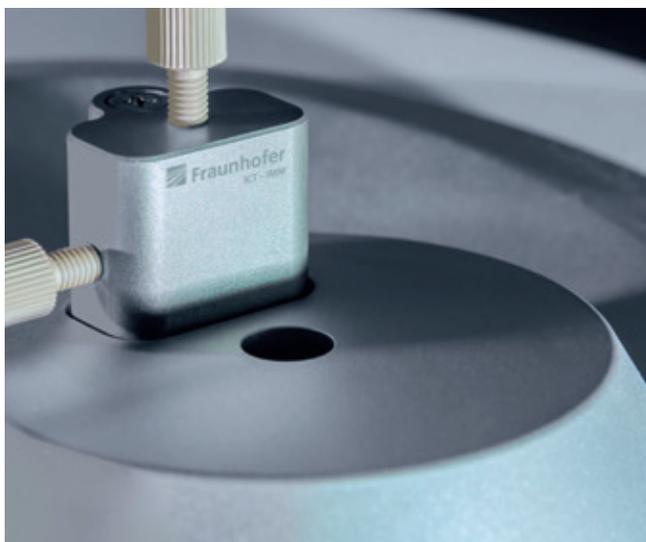
Jochen Schürer  
Prozess- & Reaktordesign  
Telefon +49 6131 990-435  
[jochen.schuerer@imm.fraunhofer.de](mailto:jochen.schuerer@imm.fraunhofer.de)

# CONTINMR – ON-LINE ANALYSE FÜR KONTINUIERLICHE CHEMISCHE PROZESSE

## Kontinuierliche Synthese und on-line NMR-Analyse

Die Entwicklung kompakter NMR-Spektrometer auf Basis von Permanentmagneten hat große Fortschritte gemacht. Diese Benchtop-Versionen bieten eine echte Alternative zu den bisherigen Hochfeld-NMR-Spektrometern, um auf kleinstem Raum eine verlässliche NMR-Analytik für kontinuierlich betriebene Syntheseprozesse zu liefern. Besonders die NMR-Analyse von fluorierten Verbindungen über den spektroskopisch sehr gut zugänglichen  $^{19}\text{F}$ -Kern hat eine wichtige Bedeutung für industrielle Anwendungen, da sich Fluor bzw. fluorhaltige Gruppen zu den wichtigsten funktionellen Gruppen in der modernen Synthesechemie entwickelt haben. Das dazu benötigte hochreaktive Fluorgas oder vergleichbare Fluorierungsreagenzien bedingen dabei den Einsatz von klein- und mikrostrukturierten Reaktoren, um den nötigen Sicherheitsstandard während der Synthese zu gewährleisten.

Im Sinne einer möglichst hohen ökonomischen und wissenschaftlichen Nutzbarkeit wurde dabei die Kombination aus kontinuierlicher Synthese in Mikroreaktoren und On-line-NMR-Analytik aufgegriffen und das Projekt ContiNMR initiiert, um ein anwendungsnahes Beispiel für die kontinuierlich betriebene Synthese von fluorierten Feinchemikalien mit integrierter NMR-Analytik abzubilden.



## Ergebnisse und Ausblick

Eine Laboranlage wurde entwickelt, deren Aufbau die Durchführung mehrerer fluorchemischer Reaktionen erlaubt: die Perfluoralkylierung von Aldehyden, die Oxidation von fluorierten Thioethern, eine hochtemperierte Krapcho-Decarboxylierung eines fluorierten Esters und die Cyclisierung von fluorierten Dicarboxyl-Verbindungen. Ein integriertes Kartuschensystem erlaubt den Einsatz immobilisierter Reagentien oder das Abfangen von Nebenprodukten. Gasförmige Nebenprodukte werden durch einen integrierten Gas/Flüssig-Splitter abgetrennt.

Es wurden zwei Durchflusszellen für das verwendete Benchtop-NMR-Spektrometer entwickelt: Die top-to-top-Durchflusszelle erlaubt das Befüllen und Entleeren der Zelle direkt vom Zellenkopf aus und ermöglicht eine gewohnt einfache Installation. Die bottom-to-top-Durchflusszelle ist für eine längerfristige Nutzung im Spektrometer gedacht und ihr Design ermöglicht die Analyse niedrig konzentrierter Lösungen. Eine elektronische Kontrolleinheit ist für die Datenerfassung und Steuerung der Laboranlage sowie die Kontrolle über die Durchflusszellen zur Probennahme und zum Spülen zuständig, je nachdem ob die Reaktionslösung per NMR kontinuierlich analysiert wird oder im stopped-flow-Verfahren.

Detaillierte Versuchsreihen wiesen die erfolgreiche Integration der  $^{19}\text{F}$ -NMR-Analytik in kontinuierlich betriebene Syntheseprozesse von fluorierten Feinchemikalien nach. Auf Basis dieser Ergebnisse sind der Einsatz und die Weiterentwicklung der Hard- und Software für die weitere Anwendung in der Fluor- und Phosphorchemie geplant.

### Kontakt

Dr. Thomas H. Rehm  
Prozess- & Anlagenentwicklung  
Telefon +49 6131 990-195  
thomas.rehm@imm.fraunhofer.de





# MEHR RAUM FÜR ZUKUNFT

Die Erweiterung der Technikumsflächen durch einen Erweiterungsbau wird es dem Fraunhofer ICT-IMM ermöglichen, zukunftsorientiert die zum Kerngeschäft passenden Kundenanfragen zu bedienen und seine Kernkompetenzen im Einklang mit seinen strategischen Planungen weiter zu entwickeln. Dies betrifft insbesondere die erweiterte Demonstrierbarkeit ingenieur- und verfahrenstechnischer Leistungen in der Energie- und Chemietechnik sowie in der Nanotechnologie in Leistungsbereichen, die im momentanen Gebäudebestand nicht umsetzbar sind. Der Erweiterungsbau wird die Darstellung kompletter Prozessketten ermöglichen und ist damit ein Mittel zur weiteren Steigerung der Industriattraktivität und Industrierelevanz der Arbeiten des Hauses, ausgerichtet an aktuellen und zukünftigen Marktbedarfen. Im Jahr 2015 wurde gemeinsam mit Architekten und Fachplanern intensiv am Vorentwurf dieses Erweiterungsbaus gearbeitet, ausgerichtet auf einen Baubeginn noch im Jahr 2016.

## Der Erweiterungsbau mit integriertem Technikum dient der:

- Erweiterung unserer Fähigkeiten im Test pilot- und produktionsskaliger Reaktoren und Aufbauten in einen neuen, von der Industrie nachgefragten Größen- und Leistungsbereich;
- Verlagerung von Versuchsanlagen in ein den Kundenanprüchen adäquates Umfeld;
- Erschließung von räumlichen Kapazitäten für technisch anspruchsvolle verfahrenstechnische Systeme in Energietechnik und chemischer Verfahrenstechnik, eingeschlossen die verfahrenstechnischen Arbeiten zur Durchflusschemie, heterogenen Katalyse sowie Synthese und Charakterisierung von Nanopartikeln;
- Schaffung von Möglichkeiten für den Pilot- und Demonstrationsbetrieb für Prozesse, Reaktoren und Anlagen;
- Möglichkeit zum Umgang mit einer Vielzahl von organischen Chemikalien und mit Wasserstoff in größeren Mengen in entsprechend geschützter Umgebung;
- Etablierung eines S2-Labors zur Entwicklung und Validierung von diagnostischen Systemen, die humane Pathogene nachweisen;
- Aufbau von Bio-Nano-Laboren zur Untersuchung der Auswirkungen von Nanopartikeln auf biologische Systeme;
- Einrichtung eines Nano-Labors zur kontinuierlichen Herstellung und Analytik von dispergierten Nanopartikeln.



# ANHANG



# MESSEN & VERANSTALTUNGEN 2015

Das ICT-IMM stellt seine Innovationen und Projektergebnisse intensiv auf Messen und Veranstaltungen vor. Messen, wie zum Beispiel die Hannover Messe, die Sensor + Test oder auch die Achema, sind als zentrales Branchenevent gesetzt. Im Gespräch mit unseren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern identifizieren wir jedes Jahr neue Ausstellungsmöglichkeiten, die unseren Innovationen einen geeigneten Rahmen bieten.

<b>Veranstaltung</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Land / Stadt</b>
OilDoc Konferenz & Ausstellung	27. – 29.1.2015	Deutschland/Rosenheim
nano tech 2015 – International Nanotechnology Exhibition & Conference	28. – 30.1.2015	Japan/Tokio
11 <sup>th</sup> International Hydrogen & Fuel Cell Expo (FC EXPO)	25. – 27.2.2015	Japan/Tokio
HYPAC EXPO	19. – 20.3.2015	Frankreich/Nantes
Anuga FoodTec	24. – 27.3.2015	Deutschland/Köln
Hannover Messe	13. – 17.4.2015	Deutschland/Hannover
Medtec Europe	21. – 23.4.2015	Deutschland/Stuttgart
SENSOR + TEST	19. – 21.5.2015	Deutschland/Nürnberg
International Paris Air Show	15. – 21.6.2015	Frankreich/ Paris – La Bourget
ACHEMA	15. – 19.6.2015	Deutschland/ Frankfurt am Main
AACC 2015 Annual Meeting & Clinical Lab Expo	26. – 30.7.2015	USA/Atlanta
Mainzer Wissenschaftsmarkt	12. – 13.9.2015	Deutschland/Mainz
10 <sup>th</sup> European Congress of Chemical Engineering (ECCE)	27.9. – 1.10.2015	Frankreich/Nizza
Biotechnica	6. – 8.10.2015	Deutschland/Hannover
World of Energy Solutions – fcell	12. – 14.10.2015	Deutschland/Stuttgart
Compamed	16. – 19.11.2015	Deutschland/Düsseldorf



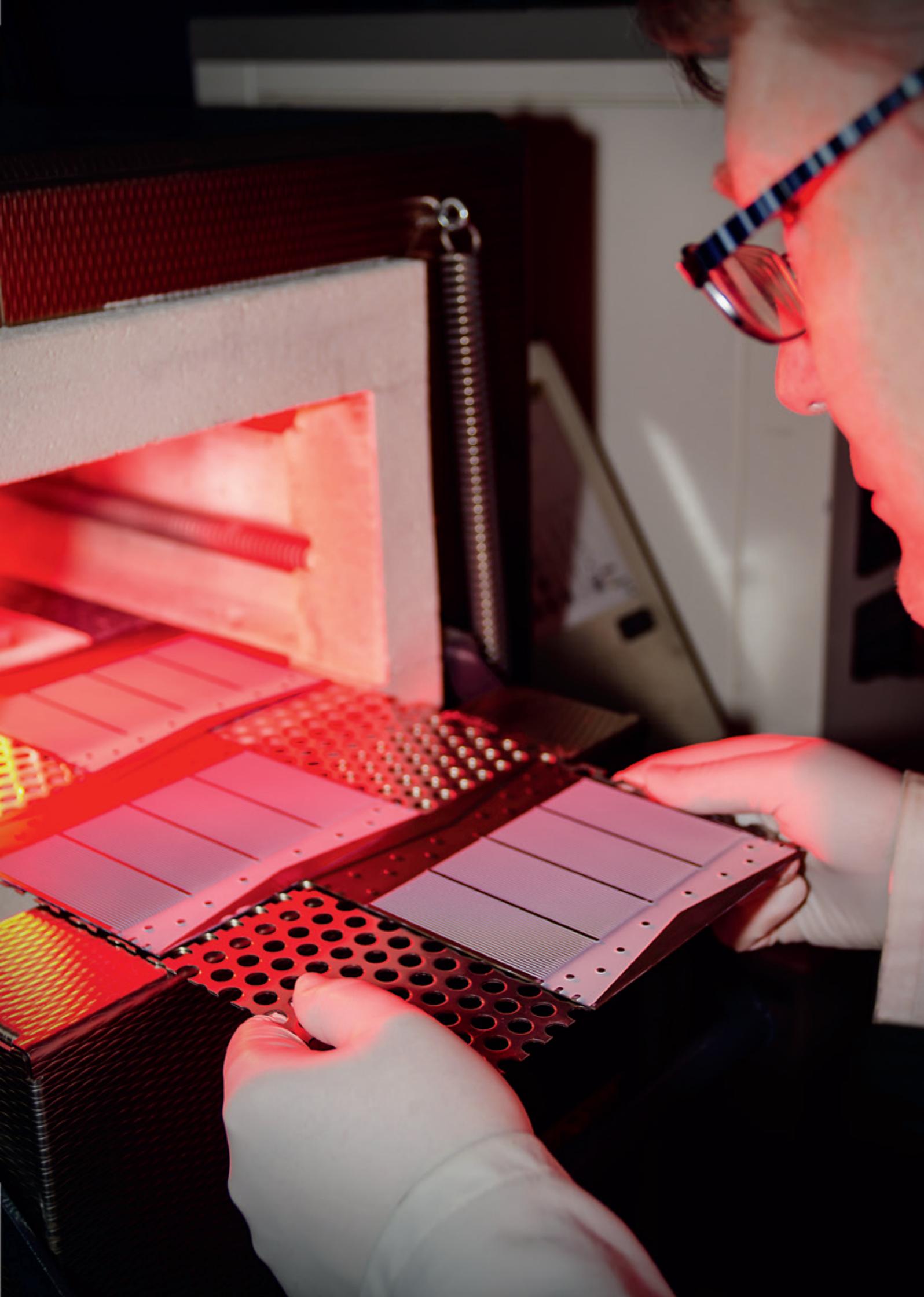
# KONFERENZEN 2015

Das Fraunhofer ICT-IMM ist ein angesehenes Mitglied der Forschungs- und Entwicklungslandschaft in Deutschland.

Darüber hinaus sind unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gern gesehene Gäste auf internationalen Konferenzen. Im Rahmen des Institutskolloquiums halten auch externe Wissenschaftler aus Industrie und Forschung Gastvorträge am ICT-IMM.

<b>Veranstaltung</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Land / Stadt</b>
22 <sup>nd</sup> Winter Fluorine Conference	11. – 15.1.2015	USA/Florida
13. bioMerieux Symposium	22. – 23.1.2015	Deutschland/Heidelberg
Jahrestreffen der Fachgruppe Energieverfahrenstechnik	23. – 24.2.2015	Deutschland/Bonn
9. Deutsches BioSensor Symposium	11. – 13.3.2015	Deutschland/München
48. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker	11. – 13.3.2015	Deutschland/Weimar
Lab-on-a-Chip European Congress	17. – 18.3.2015	Deutschland/Berlin
Graduiertenkolleg GRK 1626 Chemical Photocatalysis	18. – 19.3.2015	Deutschland/Regensburg
HYPAC EXPO	19. – 20.3.2015	Frankreich/Nantes
SPIE.DSS	20. – 24.4.2015	USA/Baltimore
WümeK – Kongress für Technologiemanagement im Krankenhaus	23. – 24.4.2015	Deutschland/Würzburg
Energy Science Technology Conference (EST)	20. – 22.5.2015	Deutschland/Karlsruhe
15 <sup>th</sup> Conference of the International Association of Colloid and Interface Scientists (IACIS)	24. – 29.5.2015	Deutschland/Mainz
ACHEMA	15. – 19.6.2015	Deutschland/ Frankfurt am Main
AACC Annual Meeting & Clinical Lab Expo	26. – 30.7.2015	USA/Atlanta
EUROPACAT – XII European Congress On Catalysis	30.8. – 4.9.2015	Russland/Kazan
Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Mikroverfahrenstechnik	14.9.2015	Deutschland/ Frankfurt am Main
9 <sup>th</sup> Young Scientists' Workshop	23.09.2015	Deutschland/Mainz
10 <sup>th</sup> European Congress of Chemical Engineering (ECCE 10)	27.9. – 1.10.2015	Frankreich/Nizza

3 <sup>rd</sup> European Congress of Applied Biotechnology (ECAB 3)	27.9. – 1.10.2015	Frankreich / Nizza
5 <sup>th</sup> European Process Intensification Conference (EPIC 5)	27.9. – 1.10.2015	Frankreich / Nizza
Mikrosystemtechnik-Kongress (MST)	26. – 28.10.2015	Deutschland / Karlsruhe
IEA Bioenergy Conference	27. – 28.10.2015	Deutschland / Berlin
European Symposium on Chemical Reaction Engineering (ESCRE)	27. – 30.10.2015	Deutschland / Fürstenfeldbruck
Congress Crossing Biological Barriers	9. – 11.11.2015	Deutschland / Dresden
Jahrestreffen der Fachgemeinschaft „Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik“ – PAAT	16. – 17.11.2015	Deutschland / Bruchsal
12. Dresdner Sensor-Symposium	7. – 9.12.2015	Deutschland / Dresden



# PUBLIKATIONEN 2015

## ARTIKEL IN BEGUTACHTETEN ZEITSCHRIFTEN

- 01** | Rehm, T.H.; Bogdan, A.; Hofmann, C.; Löb, P.; Shifrina, Z.; Morgan, D.G.; Bronstein, L.M.:  
**PROOF OF CONCEPT: MAGNETIC FIXATION OF DENDRON-FUNCTIONALIZED IRON OXIDE NANOPARTICLES CONTAINING Pd NANOPARTICLES FOR CONTINUOUS-FLOW SUZUKI COUPLING REACTIONS**  
In: ACS Applied Materials & Interfaces 7 (2015) 49, 27254-27261
- 02** | Spehar-Délèze, A.-M.; Gransee, R.; Martinez-Montequin, S.; Bejarano-Nosas, D.; Dulay, S.; Julich, S.; Tomaso, H.; O'Sullivan, C.K.:  
**ELECTROCHEMILUMINESCENCE DNA SENSOR ARRAY FOR MULTIPLEX DETECTION OF BIOWARFARE AGENTS**  
In: Analytical and Bioanalytical Chemistry 407 (2015) 22, 6657-6667
- 03** | Kasper, J.; Feiden, L.; Herrmanns, M.I.; Bantz, C.; Maskos, M.; Unger, R.E.; Kirkpatrick, C.J.:  
**PULMONARY SURFACTANT AUGMENTS CYTOTOXICITY OF SILICA NANOPARTICLES: STUDIES ON AN IN VITRO AIR-BLOOD BARRIER MODEL**  
In: Beilstein Journal of Nanotechnology 6 (2015), 517-528
- 04** | Treuel, L.; Docter, D.; Maskos, M.; Stauber, R.H.:  
**PROTEIN CORONA – FROM MOLECULAR ADSORPTION TO PHYSIOLOGICAL COMPLEXITY**  
In: Beilstein Journal of Nanotechnology 6 (2015), 857-873
- 05** | Ben Mohammadi, L.; Klotzbücher, T.; Sigloch, S.; Welzel, K.; Göddel, M.; Pieper, T.; Schaupp, L.:  
**CLINICAL PERFORMANCE OF A LOW COST NEAR INFRARED SENSOR FOR CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING APPLIED WITH SUBCUTANEOUS MICRODIALYSIS**  
In: Biomedical Microdevices 17 (2015) 4, 73
- 06** | Joda, H.; Beni, V.; Willems, A.; Frank, R.; Höth, J.; Lind, K.; Strömbom, L.; Katakis, I.; O'Sullivan, C.K.:  
**MODIFIED PRIMERS FOR RAPID AND DIRECT ELECTROCHEMICAL ANALYSIS OF COELIAC DISEASE ASSOCIATED HLA ALLELES**  
In: Biosensors and Bioelectronics 73 (2015) 11, 64-70
- 07** | Neuberg, S.; Pennemann, H.; Wiborg, J.O.; Wichert, M.; Zapf, R.; Ziogas, A.; Kolb, G.:  
**THERMOCATALYTIC DECOMPOSITION OF PROPANE FOR PURE HYDROGEN PRODUCTION AND SUBSEQUENT CARBON GASIFICATION: ACTIVITY AND LONG-TERM STABILITY OF Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> BASED CATALYSTS**  
In: Catalysis Today 242 (2015) Part A, 139-145
- 08** | Ghaini, A.; Balon-Burger, M.; Bogdan, A.; Krtschil, U.; Löb, P.:  
**MODULAR MICROSTRUCTURED REACTORS FOR PILOT- AND PRODUCTION SCALE CHEMISTRY**  
In: Chemical Engineering and Technology 38 (2015) 1, 33-43
- 09** | Misuk, V.; Schmidt, M.; Braukmann, S.; Giannopoulos, K.; Karl, D.; Löwe, H.:  
**SEGMENTED FLOW-BASED MULTISTEP SYNTHESIS OF CADMIUM SELENIDE QUANTUM DOTS WITH NARROW PARTICLE SIZE DISTRIBUTION**  
In: Chemical Engineering and Technology 38 (2015) 7, 1150-1153
- 10** | Wiborg, J.O.; O'Connell, M.; Thiele, R.; Wichert, M.; Kolb, G.:  
**AUTOMATED AND CONTINUOUS PRODUCTION OF MICROSTRUCTURED METALLIC PLATES VIA COLD EMBOSSING**  
In: Chemical Engineering and Technology 38 (2015) 8, 1308-1314
- 11** | Pennemann, H.; Bellinghausen, R.; Westermann, T.; Mleczko, L.:  
**REFORMING OF METHANE IN A MULTISTAGE MICROSTRUCTURED REACTOR**  
In: Chemical Engineering and Technology 38 (2015) 10, 1883-1893



- 12 | Rehm, T.H.:  
**PHOTOCHEMICAL FLUORINATION REACTIONS – A PROMISING RESEARCH FIELD FOR CONTINUOUS-FLOW SYNTHESIS**  
 In: Chemical Engineering and Technology 39 (2016) 1, 66-80
- 13 | Wang, Q.; Spasova, B.; Hessel, V.; Kolb, G.:  
**METHANE REFORMING IN A SMALL-SCALED PLASMA REACTOR – INDUSTRIAL APPLICATION OF A PLASMA PROCESS FROM THE VIEWPOINT OF THE ENVIRONMENTAL PROFILE**  
 In: Chemical Engineering Journal 262 (2015), 766-774
- 14 | Spiess, A.-N.; Deutschmann, C.; Burdukiewicz, M.; Himmelreich, R.; Klat, K.; Schierack, P.; Rödiger, S.:  
**IMPACT OF SMOOTHING ON PARAMETER ESTIMATION IN QUANTITATIVE DNA AMPLIFICATION EXPERIMENTS**  
 In: Clinical Chemistry 61 (2015) 2, 379-388
- 15 | Ortiz, M.; Joda, H.; Höth, J.; Beni, V.; Katakis, I.; Klemm, R.; Lind, K.; O’Sullivan, C.K.; Fragoso, A.:  
**BLEED-TO-READ DISPOSABLE MICROSYSTEMS FOR THE GENETIC AND SEROLOGICAL ANALYSIS OF CELIAC DISEASE MARKERS WITH AMPEROMETRIC DETECTION**  
 In: Electrophoresis 36 (2015) 16, 1920-1926
- 16 | Costa, C.; Wagner, M.; Musyanovych, A.; Landfester, K.; Sayer, C.; Araújo, P.H.:  
**DECREASE OF METHYL METHACRYLATE MINIEMULSION POLYMERIZATION RATE WITH INCORPORATION OF PLANT OILS**  
 In: European Journal of Lipid Science and Technology 118 (2016) 1, 93-103
- 17 | Buba, A.E.; Löwe, H.; Kunz, H.:  
**FLUORENYLMETHOXYCARBONYL-PROTECTED O-GLYCOSYL-N-METHYL AMINO ACIDS: BUILDING BLOCKS FOR THE SYNTHESIS OF CONFORMATIONALLY TUNED GLYCOPEPTIDE ANTIGENS**  
 In: European Journal of Organic Chemistry (2015) 26, 5764-5774
- 18 | Kolb, G.:  
**FRAUNHOFER, DLR PROJECT DEMONSTRATES POWER FOR AIRLINER GALLEYS**  
 In: Fuel Cells Bulletin (2015) 7, 5
- 19 | Newton, H.; Wang, Q.; Sundaram, S.; van Veen, A.; Kiesewalter, S.; Kolb, G.:  
**BIOGO: CONTRIBUTING TO THE TRANSFORMATION OF THE PETRO-CHEMICAL INDUSTRY THROUGH ADVANCES IN NANO-CATALYSTS AND REACTOR DESIGN**  
 In: Green Processing and Synthesis 4 (2015) 5, 433-435
- 20 | Heller, M.; Kämmerer, P.W.; Al-Nawas, B.; Luszpinski, M.-A.; Förch, R.; Brieger, J.:  
**THE EFFECT OF EXTRACELLULAR MATRIX PROTEINS ON THE CELLULAR RESPONSE OF HUVECS AND HOBBS AFTER COVALENT IMMOBILIZATION ONTO TITANIUM**  
 In: Journal of Biomedical Materials Research Part A 103 (2015) 6, 2035-2044
- 21 | Misuk, V.; Mai, A.; Giannopoulos, K.; Karl, D.; Heinrich, J.; Rauber, D.; Löwe, H.:  
**PALLADIUM-CATALYZED CARBON-CARBON CROSS-COUPLING REACTIONS IN THERMOMORPHOUS DOUBLE EMULSIONS**  
 In: Journal of Flow Chemistry 5 (2015) 1, 43-47
- 22 | Misuk, V.; Mai, A.; Zhao, Y.; Heinrich, J.; Rauber, D.; Giannopoulos, K.; Löwe, H.:  
**ACTIVE MIXING INSIDE DOUBLE EMULSION SEGMENTS IN CONTINUOUS FLOW**  
 In: Journal of Flow Chemistry 5 (2015) 2, 101-109
- 23 | Grass, S.; Diendorf, J.; Gebauer, J.S.; Epple, M.; Treuel, L.:  
**QUANTITATIVE REPLACEMENT OF CITRATE BY PHOSPHANE ON SILVER NANOPARTICLE SURFACES MONITORED BY SURFACE-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY (SERS)**  
 In: Journal of Nanoscience and Nanotechnology 15 (2015) 2, 1591-1596
- 24 | Koshkina, O.; Lang, T.; Thiermann, R.; Docter, D.; Stauber, R.H.; Secker, C.; Schlaad, H.; Weidner, S.; Mohr, B.; Maskos, M.; Bertin, A.:  
**TEMPERATURE-TRIGGERED PROTEIN ADSORPTION ON POLYMER-COATED NANOPARTICLES IN SERUM**  
 In: Langmuir 31 (2015) 32, 8873-8881
- 25 | Beer, V.; Koynov, K.; Steffen, W.; Landfester, K.; Musyanovych, A.:  
**POLYLACTIDE-BASED NANOPARTICLES WITH TAILOR-MADE FUNCTIONALIZATION**  
 In: Macromolecular Chemistry and Physics 216 (2015) 17, 1774-1781



- 26 | Scherer, M.; Fischer, K.; Depoix, F.; Fritz, T.; Thiermann, R.; Mohr, K.; Zentel, R.:  
**PENTAFLUOROPHENYL ESTER-BASED POLYMERSOMES AS NANOSIZED DRUG-DELIVERY VEHICLES**  
In: Macromolecular Rapid Communications 37 (2016) 1, 60-66
- 27 | Leimann, F.V.; Costa, C.; Goncalves, O.H.; Musyanovych, A.; Landfester, K.; Sayer, C.; de Araújo, P.H.H.:  
**POLY(3-HYDROXYBUTIRATE-CO-3-HYDROXYVALERATE)-POLYSTYRENE HYBRID NANOPARTICLES VIA MINIEMULSION POLYMERIZATION**  
In: Macromolecular Reaction Engineering 10 (2016) 1, 39-46
- 28 | Bleul, R.; Thiermann, R.; Maskos, M.:  
**TECHNIQUES TO CONTROL POLYMERSOME SIZE**  
In: Macromolecules 48 (2015) 20, 7396-7409
- 29 | Schott, L.; Sommer, C.; Wittek, J.; Myagmar, K.; Walther, T.; Baßler, M.:  
**CELL SIZE DISCRIMINATION BASED ON THE MEASUREMENT OF THE EQUILIBRIUM VELOCITY IN RECTANGULAR MICROCHANNELS**  
In: Micromachines 6 (2015) 5, 634-647
- 30 | Illg, T.; Knorr, A.; Fritzsche, L.:  
**MICROREACTORS – A POWERFUL TOOL TO SYNTHESIZE PEROXYCARBOXYLIC ESTERS**  
In: Molecules 21 (2016) 1, 5
- 31 | Zupke, O.; Distler, E.; Jürchott, A.; Paiphansiri, U.; Dass, M.; Thomas, S.; Hartwig, U.F.; Theobald, M.; Landfester, K.; Mailänder, V.; Herr, W.:  
**NANOPARTICLES AND ANTIGEN-SPECIFIC T-CELL THERAPEUTICS: A COMPREHENSIVE STUDY ON UPTAKE AND RELEASE**  
In: Nanomedicine 10 (2015) 7, 1063-1076
- 32 | Lerch, S.; Ritz, S.; Bley, K.; Messerschmidt, C.; Weiss, C.K.; Musyanovych, A.; Landfester, K.; Mailänder, V.:  
**NANOPROBING THE ACIDIFICATION PROCESS DURING INTRACELLULAR UPTAKE AND TRAFFICKING**  
In: Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 11 (2015) 6, 1585-1596
- 33 | Rotem, A.; Ram, O.; Shoresh, N.; Sperling, R.A.; Goren, A.; Weitz, D.A.; Bernstein, B.E.:  
**SINGLE-CELL CHIP-SEQ REVEALS CELL SUBPOPULATIONS DEFINED BY CHROMATIN STATE**  
In: Nature Biotechnology 33 (2015) 11, 1165-1172
- 34 | Alebrand, S.; Cinchetti, M.; Aeschlimann, M.:  
**MAGNETISCHE SPEICHER: SCHALTEN MIT LICHT**  
In: Physik in unserer Zeit 46 (2015) 4, 180-186
- 35 | Chu, L.-Q.; Zhang, Q.; Förch, R.:  
**SURFACE PLASMON-BASED TECHNIQUES FOR THE ANALYSIS OF PLASMA DEPOSITED FUNCTIONAL FILMS AND SURFACES**  
In: Plasma Processes and Polymers 12 (2015) 9, 941-952
- 36 | Rotem, A.; Ram, O.; Shoresh, N.; Sperling, R.A.; Schnall-Levin, M.; Zhang, H.; Basu, A.; Bernstein, B.E.; Weitz, D.A.:  
**HIGH-THROUGHPUT SINGLE-CELL LABELING (HI-SCL) FOR RNA-SEQ USING DROP-BASED MICROFLUIDICS**  
In: PLoS One 10 (2015) 5, e0116328
- 37 | Gericke, D.; Ott, D.; Matveeva, V.G.; Sulman, E.; Aho, A.; Murzin, D.Y.; Roggan, S.; Danilova, L.; Hessel, V.; Löb, P.; Kralisch, D.:  
**GREEN CATALYSIS BY NANOPARTICULATE CATALYSTS DEVELOPED FOR FLOW PROCESSING? CASE STUDY OF GLUCOSE HYDROGENATION**  
In: RSC Advances 5 (2015) 21, 15898-15908
- 38 | Kvastad, L.; Solnestam, B.W.; Johansson, E.; Nygren, A.O.; Laddach, N.; Sahlén, P.; Vickovic, S.; Bendigtsen, S.C.; Aaserud, M.; Floer, L.; Borgen, E.; Schwind, C.; Himmelreich, R.; Latta, D.; Lundeberg, J.:  
**SINGLE CELL ANALYSIS OF CANCER CELLS USING AN IMPROVED RT-MLPA METHOD HAS POTENTIAL FOR CANCER DIAGNOSIS AND MONITORING**  
In: Scientific Reports 5 (2015), 16519
- ARTIKEL IN ANDEREN ZEITSCHRIFTEN
- 39 | Lang, J.; Löb, P.; Maskos, M.:  
**MIKRO MACHT MOBIL GOING MOBILE WITH MICRO**  
In: Evonik elements (2015) 53, 22-25

- 40 | Winkler, A.; Baßler, M.; Alebrand, S.:  
**MINIATURISIERTE SYSTEME FÜR DAS ALL UND DIE PRAXIS.**  
**TEIL I: TOMATEN IM WELTALL ... ODER VOM TRAUM DES MENSCHEN, DAS ALL ZU BESIEDELN.**  
**TEIL II: TUMORZELLEN IM BLUT ... ODER VOM TRAUM DES ARZTES, DIE THERAPIEWIRKUNG DIREKT ZU PRÜFEN**  
In: Labor&More (2015) 9, 44-48

- 41 | Baßler, M.:  
**JEDE ZELLE EINZELN ANALYSIEREN. DURCHFLUSSZYTOTOMETRIE LEICHT GEMACHT**  
In: Laborpraxis (2015) 7, 12-13

#### BEITRÄGE IN BÜCHERN

- 42 | Eslahian, K.A.; Maskos, M.:  
**THERMAL FIELD-FLOW FRACTIONATION OF COLLOIDAL SUSPENSIONS**  
In: Encyclopedia of Analytical Chemistry; Liquid Chromatography: Wiley-OnlineLibrary, 2015, 1-27; ISBN: 9780470027318
- 43 | Kolb, G.:  
**CATALYTIC WALL REACTOR**  
In: Encyclopedia of Membranes; Drioli, E.; Giorno, L. (Ed.): Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016; ISBN: 978-3-662-44323-1
- 44 | Kolb, G.:  
**CATALYTIC METHANOL STEAM REFORMING**  
In: Encyclopedia of Membranes; Drioli, E.; Giorno, L. (Ed.): Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016; ISBN: 978-3-662-44323-1
- 45 | Kolb, G.:  
**CATALYTIC REFORMER OFF-GAS**  
In: Encyclopedia of Membranes; Drioli, E.; Giorno, L. (Ed.): Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016; ISBN: 978-3-662-44323-1
- 46 | Kolb, G.:  
**CATALYTIC REFORMING OF METHANE AND OTHER HYDROCARBONS**  
In: Encyclopedia of Membranes; Drioli, E.; Giorno, L. (Ed.): Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016; ISBN: 978-3-662-44323-1

#### BEITRÄGE IN TAGUNGSBÄNDEN

- 47 | Riegel, S.; Rehm, T.H.:  
**ContiNMR: MONITORING AND CONTROLLING CONTINUOUS SYNTHESIS REACTORS WITH BENCHTOP NMR**  
In: 22<sup>nd</sup> Winter Fluorine Conference. January 11–16, 2015. – St. Pete Beach, Florida, USA: ACS, 2015, 42–43
- 48 | Gransee, R.; Schneider, T.; Elyorgun, D.; Strobach, X.; Schunck, T.; Gatscha, T.; Winkler, C.; Höth, J.:  
**ULTRAFAST REAL-TIME PCR WITH INTEGRATED MELTING CURVE ANALYSIS AND DUPLEX CAPACITIES USING A LOW-COST POLYMER LAB-ON-A-CHIP SYSTEM**  
In: Smart Biomedical and Physiological Sensor Technology XII; Volume 9487; Cullum B.M.; McLamore E.S.(Ed.). – Bellingham, WA: SPIE, 2015, 948706 (Proc. SPIE Bd. 9487)  
ISBN: 9781628416039
- 49 | Drese, K.S.; Himmelreich, R.:  
**DIE NÄCHSTE GENERATION DES POINT-OF-CARE-TESTING – NEUE TECHNOLOGIEN UND ERFOLGSFAKTOREN**  
In: Technologien im Krankenhaus (Technologiemanagement in Krankenhäusern 2015); Nippa, J. (Ed.) – Wetzlar: Euritim Verlag, 2015, 221–225  
ISBN: 9783937988252
- 50 | Baßler, M.; Sommer, C.; Boettger, T.; Wittek, J.; Drese, K.S.; Alebrand, S.; Schönfeld, F.:  
**DIE GLEICHGEWICHTSGESCHWINDIGKEIT IN MIKROKANÄLEN FÜR DIE GRÖSSENMESSUNG VON PARTIKELN: WELCHE PARTIKEL SIND AM SCHNELLSTEN?**  
**THE EQUILIBRIUM VELOCITY IN MICRO CHANNELS FOR PARTICLE SIZE MEASUREMENTS: WHICH PARTICLES ARE THE FASTEST?**  
In: Mikrosystemtechnik Kongress 2015. – Berlin: VDE-Verlag, 2015, 54–57  
ISBN: 9783800741007

#### VORTRÄGE

- 51 | Rehm, T.H.; Löb, P.; Riegel, S.:  
**ContiNMR – MONITORING AND CONTROLLING CONTINUOUS SYNTHESIS REACTORS WITH BENCHTOP NMR**  
In: ACS Winter Fluorine Conference, 22  
11.01.2015 – 16.01.2015. – St. Pete Beach, USA

- 52 | Schürer, J.; Tiemann, D.; Ziogas, A.; Kolb, G.:  
**ENTWICKLUNG EINES KOMPLETTREFORMERS MIT EINEM ELEKTRISCHEN LEISTUNGSÄQUIVALENT VON 5 kWel FÜR PROPYLENGLYKOL**  
 In: Jahrestreffen der Fachgruppe Energieverfahrenstechnik, 48  
 23.02.2015 – 24.02.2015. – Bonn
- 53 | Schunck, T.:  
**D-LIVER: HEIMTEST ZUR ERMITTLUNG DES GESUNDHEITZUSTANDS DER LEBER AUS EINEM TROPFEN BLUT**  
 In: BioSensor Symposium, 9  
 11.03.2015 – 13.03.2015. – München
- 54 | Himmelreich, R.:  
**GETTING MICROFLUIDICS TO WORK AS A PRODUCT – INTRICACIES FROM COST TO FUNCTION**  
 In: Lab-on-a-Chip & Microfluidics Conference  
 17.03.2015 – 18.03.2015. – Berlin
- 55 | Rehm, T.H.; Löb, P.:  
**CONTINUOUS FLOW SYNTHESIS AND ANALYSIS. GAS-LIQUID-PHOTONIC CONTACTING. FLUORINE ON-LINE NMR ANALYSIS**  
 In: GRK – DFG-Graduiertenkolleg, 1626  
 18.03.2015. – Regensburg
- 56 | Kolb, G.; Schürer, J.; Tiemann, D.; Ziogas, A.:  
**CATALYTIC STEAM REFORMING OF POLYALCOHOLS IN MICROCHANNEL REACTORS – HYDROGEN PRODUCTION FROM CELLULOSIC BIOMASS**  
 In: HYPAC EXPO  
 19.03.2015 – 20.03.2015. – Nantes, France
- 57 | Förch, R.:  
**DESIGNING SURFACES FOR CELL ATTACHMENT**  
 In: FhG-IST Symposium „Cells meets Surface“, 3  
 06.05.2015 – 07.05.2015. – Braunschweig
- 58 | Kolb, G.:  
**BIO-GO: CONVERSION OF BIO GAS AND PYROLYSIS OIL TO SYNTHETIC FUELS**  
 In: EST – Energy Science Technology  
 20.05.2015 – 22.05.2015. – Karlsruhe
- 59 | Schürer, J.; Kolb, G.:  
**MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER REACTORS FOR SUSTAINABLE PRODUCTION OF FUELS AND ELECTRIC ENERGY**  
 In: ACHEMA – Ausstellungstagung für chemisches Apparatewesen  
 15.06.2015 – 19.06.2015. – Frankfurt am Main
- 60 | Klotzbücher, T.:  
**REACTION – BLUTZUCKER KONTINUIERLICH MESSEN**  
 In: Mobile Health Forum  
 30.06.2015. – Frankfurt am Main
- 61 | Kolb, G.; Pennemann, H.:  
**MICROSTRUCTURED REACTORS AS EFFICIENT TOOL FOR THE OPERATION OF SELECTIVE OXIDATION REACTIONS**  
 In: Europacat - European Congress on Catalysis; XI European Workshop on Innovation in Selective Oxidation, 12  
 30.08.2015 – 04.09.2015. – Kazan, Russia
- 62 | Schindler, C.; Mohr, B.; Hofmann, C.; Drese, K.S.; Löb, P.; Sperling, R.A.; Maskos, M.:  
**CONTINUOUS SYNTHESIS OF NANOPARTICLES AND ONLINE PROCESS ANALYTICS**  
 In: Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Mikroverfahrenstechnik  
 14.09.2015. – Frankfurt
- 63 | Menges-Flanagan, G.; Balon-Burger, M.; Hofmann, C.; Löb, P.:  
**GRIGNARD REAGENT FORMATION IN CONTINUOUS FLOW: CASE STUDY AND CHALLENGES**  
 In: ECCE – European Congress of Chemical Engineering, 10  
 27.09.2015 – 01.10.2015. – Nice, France
- 64 | Krtschil, U.; Schütt, C.; Löb, P.; Ben Mohammadi, L.:  
**DEVELOPMENT AND SCALE-UP OF A MICROWAVE TRANSPARENT CATALYTIC FALLING FILM MICROREACTOR**  
 In: EPIC – European Process Intensification Conference, 5  
 27.09.2015 – 01.10.2015. – Nice, France
- 65 | Kolb, G.; Avgouropoulos, G.; Schlicker, S.; Schelhaas, K.-P.; Loannides, T.; Neophytides, S.; Kallitsis, J.:  
**DESIGN AND OPERATION OF AN AUXILIARY POWER UNIT WITH HIGH TEMPERATURE PEM FUEL CELL AND INTERNAL METHANOL REFORMING**  
 In: ECCE – European Congress of Chemical Engineering, 10  
 27.09.2015 – 01.10.2015. – Nice, France



- 66 | Rehm, T.H.; Hofmann, C.; Reinhard, D.; Kost, H.-J.; Löb, P.:  
**ContiNMR: MONITORING CONTINUOUS-FLOW SYNTHESIS WITH BENCHTOP NMR FOR FLUORINE CHEMICALS**

In: ECCE – European Congress of Chemical Engineering, 10  
 27.09.2015–01.10.2015. – Nice, France

- 67 | Baßler, M.:  
**FRAUNHOFER ICT-IMM AT BIOTECHNICA 2015**

In: Biotechnica  
 06.10.2015–08.10.2015. – Hannover

- 68 | Himmelreich, R.:  
**CTCelect: A RAPID PROCESS FOR SINGULARIZATION OF FREE CIRCULATING TUMOR CELLS (CTCS) DIRECTLY FROM PATIENT BLOOD FOR PERSONALIZED CANCER IMMUNOTHERAPY**

In: Biotechnica  
 06.10.2015–08.10.2015. – Hannover

- 69 | Schürer, J.; Thiele, R.; Wiborg, J.O.; Ziogas, A.; Kolb, G.:  
**OPERATION OF A COMPLETE PILOT PLANT FOR BIODIESEL SYNTHESIS UNDER SUPERCRITICAL CONDITIONS**

In: ESCRE – European Symposium on Chemical Reaction Engineering  
 27.10.2015–30.10.2015. – Fürstenfeldbruck

- 70 | Kolb, G.; Sundaram, S.; Wang, Q.; Hessel, V.:  
**BIO-GO: UMSETZUNG VON BIOGAS UND PYROLYSEÖLEN IN SYNTHETISCHE TREIBSTOFFE**

In: PAAT – ProcessNet Jahrestreffen der Fachgemeinschaft „Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik“  
 16.11.2015–17.11.2015. – Bruchsal

- 71 | Rehm, T.H.; Hofmann, C.; Reinhard, D.; Kost, H.-J.; Löb, P.; Barten, J.; Lix, B.; Riegel, S.; Hillson, A.; Krakiwsky, S.:  
**ContiNMR: MONITORING CONTINUOUS-FLOW SYNTHESIS WITH BENCHTOP NMR FOR FLUORINE CHEMICALS**

In: Dresdner Sensor Symposium, 12  
 07.12.2015–09.12.2015. – Dresden

- 72 | Wink, M.; Maskos, M.; Baßler, M.:  
**EXTRACTION OF CIRCULATING TUMOR CELLS IN CONTINUOUS MICROFLOWS**

In: International MicroNanoConference, 10  
 08.12.2015–09.12.2015. – Amsterdam, Netherlands

## POSTER

- 73 | Anspach, L.; Freese, C.; Schreiner, D.; Bantz, C.; Maskos, M.; Unger, R.E.; Kirkpatrick, C.J.:

**PHYSIOLOGICAL CYCLIC STRETCH – IMPACT OF SILICA NANOPARTICLE UPTAKE INTO HUMAN ENDOTHELIAL CELLS**

In: Imagine Nano  
 10.03.2015–13.03.2015. – Bilbao, Spain

- 74 | Acero Sanchez, J.; Joda, H.; Henry, O.Y.F.; Solnestam, B.W.; Kvastad, L.; Johansson, E.; Lundberg, J.; Lladach, N.; Salvo, P.; Dhaenens, K.; Gielen, A.; Vanfleteren, J.; Latta, D.; Riley, I.; O’Sullivan, C.K.:

**GENETIC ANALYSIS OF SINGLE CANCER CELL USING A MULTIPLEXED DNA AMPLIFICATION STRATEGY COUPLED TO 64-ELECTRODE PCB SENSOR ARRAYS FOR DETECTION**

In: Imagine Nano  
 10.03.2015–13.03.2015. – Bilbao, Spain

- 75 | Schott, L.; Wittek, J.; Sommer, C.; Quint, S.; Baßler, M.:

**MINIATURIZED FLOW CYTOMETRY FOR ON-SITE OPERATION**

In: BioSensor Symposium, 9  
 11.03.2015–13.03.2015. – München

- 76 | Zapf, R.; Kolb, G.; Neuberg, S.; Pennemann, H.; Thiermann, R.; Ziogas, A.:  
**SCREENING OF Pt-BASED CATALYSTS FOR PROPANE COMBUSTION BY APPLYING START / STOP-CYCLES**

In: Jahrestreffen Deutscher Katalytiker, 48  
 11.03.2015–13.03.2015. – Weimar

- 77 | von Bomhard, S.; Mpoukouvalas, A.; Friedemann, K.; Maskos, M.; Musyanovych, A.:

**SCALED-UP FORMULATION OF POLYMER PARTICLES THROUGH MINIEMULSION IN A CONTINUOUS FLOW**

In: IACIS – International Association of Colloid and Interface Scientists, 15  
 24.05.2015–29.05.2015. – Mainz

- 78 | Gros, S.; Rehm, T.H.; Löb, P.; Renken, A.:  
**EVALUATION AND PERFORMANCE COMPARISON OF MICRO-FLOW REACTORS FOR VISIBLE LIGHT PHOTO-CATALYSIS**

In: École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
 03.08.2015–14.08.2015. – Lausanne, Switzerland



**79 |** Rehm, T.H.; Hofmann, C.; Reinhard, D.; Kost, H.-J.; Löb, P.:  
**ContiNMR – ON-LINE NMR-ANALYTIK FÜR DIE KONTINUIERLICHE SYNTHESE VON FLUORIERTEN FEINCHEMIKALIEN**  
 In: Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Mikroverfahrenstechnik  
 14.09.2015. – Frankfurt am Main

**80 |** Rehm, T.H.; Löb, P.:  
**PHOTOCHEMICAL CATALYSIS WITH VISIBLE LIGHT – A SUSTAINABLE APPLICATION FOR THE FALLING FILM MICROREACTOR**  
 In: ECCE – European Congress of Chemical Engineering, 10  
 27.09.2015–01.10.2015. – Nice, France

**81 |** Schürer, J.; Bersch, D.; Thiele, R.; Ziogas, A.; Kolb, G.:  
**CATALYSTS AND MICROCHANNEL REACTORS FOR SUPERCRITICAL BIODIESEL PRODUCTION**  
 In: IEA Bioenergy Conference  
 27.10.2015–28.10.2015. – Berlin

**82 |** Müller, A.; Ariaans, C.; Weizel, A.; Löb, P.; Hofmann, C.:  
**EVAPORATORS FOR HIGH-THROUGHPUT SCREENING PLANTS & MINIPLANTS**  
 In: ESCRE – European Symposium on Chemical Reaction Engineering, 2015  
 27.10.2015–30.10.2015. – Fürstfeldbruck

#### FORSCHUNGSBERICHTE

**83 |** Zupke, O.; Maskos, M.:  
**ENTWICKLUNG EINES MIKROFLUIDISCHEN SYSTEMS (ARTIFIZIELLER BLUTKREISLAUF) ZUR QUANTITATIVEN ANALYSE DER INTERAKTION VON NANOPARTIKELN MIT BLUTBESTANDTEILEN**  
 Laufzeit: 01.01.2013–30.06.2015. – Förderkennzeichen: 961 – 386261/1074  
 Zuwendungsgeber: Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation. – Mainz, 2015

**84 |** Höth, J.; Potje-Kamloth, K.:  
**ERA NET EUROTRANSBIO-6 - FORECAST2: „ENTWICKLUNG VON OPERATIONSEINHEITEN FÜR DIE TEMPERIERUNG, SENSORIK UND DRUCKKONTROLLE VON MIKROTITERPLATTEN“**  
 Laufzeit: 01.11.2011–30.04.2015. – Förderkennzeichen: 0316071C  
 Zuwendungsgeber: BMBF. – Projektträger: Forschungszentrum Jülich. – Mainz, 2015

**85 |** Hainel, F.; Kiesevalter, S.:  
**MODULARES PROJEKT- UND ALLIANCE-MANAGEMENT-TOOL FÜR DIE PHARMAZEUTISCHE UND DIAGNOSTISCHE ENTWICKLUNG, PROJEKTTEIL IMM**  
 Laufzeit: 01.10.2012–30.09.2014. – Förderkennzeichen: 131A014B  
 Zuwendungsgeber: VDI. – Projektträger: BMBF. – Mainz, 2015

#### DISSERTATIONEN

**86 |** Quint, S.:  
**DURCHFLUSSZYTOMETRIE NACH DEM PRINZIP DER RÄUMLICH MODULIERTEN FLUORESCENZ**  
 Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Dissertation von Dipl.-Phys. Stephan Quint. Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Physik, Institut für Angewandte Physik, 2015

#### BACHELORARBEITEN

**87 |** Saala, F.:  
**ANALYSE DES PARTIKELTRANSPORTS IN MIKROFLUIDISCHEN STRÖMUNGEN**  
 Bachelorarbeit. Studienbereich Physik, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Hochschule RheinMain, durchgeführt am Fraunhofer ICT-IMM, 2015

#### MASTERARBEITEN

**88 |** Gros, S.:  
**EVALUATION AND PERFORMANCE COMPARISON OF MICRO-FLOW REACTORS FOR VISIBLE LIGHT PHOTO-CATALYSIS**  
 Master Thesis. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Chemical Engineering and Biotechnology, Fraunhofer ICT-IMM, 2015

**89 |** Boettger, T.:  
**CFD-SIMULATION ZUM VERHALTEN VON PARTIKELN IN MIKROFLUIDKANÄLEN**  
 Masterarbeit. Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Studienbereich Physik, Hochschule RheinMain, durchgeführt am Fraunhofer ICT-IMM, 2015

**90 |** Traut, M.:  
**LATTICE-BOLTZMANN-SIMULATION ZUR STRÖMUNG VON PARTIKELN IN MIKROFLUIDKANÄLEN**  
 Masterarbeit. Studienbereich Physik, Fachbereich Ingenieurwissenschaften der Hochschule RheinMain, durchgeführt am Fraunhofer ICT-IMM, 2015

91 | Staub, K.:

**AUFBAU UND CHARAKTERISIERUNG EINES MIKROFLUIDISCHEN SENSORSYSTEMS FÜR DIE CHIPBASIERTE DURCHFLUSSTITRATION**

Masterarbeit. Fakultät Chemie und Mineralogie der Universität Leipzig, Studiengang Master Chemie, durchgeführt am Fraunhofer ICT-IMM, 2015

**PATENTE**

92 | Holzki, M.; Klotzbücher, T.:

**VORRICHTUNG ZUR ANALYSE EINES FLUIDS MITTELS EVANESZENZ-FELDSPEKTROSKOPIE UND DIELEKTROPHORESE**

Patentnummer: DE 10 2011 085 394 B4; Prioritätsdatum: 28.10.2011  
Erteilungsdatum: 02.04.2015

93 | Quint, S.; Baßler, M.:

**VERFAHREN ZUR DETEKTION VON STRAHLUNGSEMITTIERENDEN PARTIKELN**

Patentnummer: DE 10 2013 105 953 B4; Prioritätsdatum: 07.06.2013  
Erteilungsdatum: 30.07.2015

94 | Gransee, R.; Strobach, X.; Stein, V.; Röser, T.:

**MIKROFLUIDISCHE STRUKTUR UND VERFAHREN ZUM POSITIONIEREN EINES FLÜSSIGKEITSVOLUMENS IN EINEM MIKROFLUIDISCHEN SYSTEM**

Patentnummer: EP 2 486 313 B1; Prioritätsdatum: 06.10.2009  
Erteilungsdatum: 11.11.2015

95 | Claussen, J.; Weniger, M.:

**MICROFLUIDIC STRUCTURE**

Patentnummer: US 9,186,638 B2; Prioritätsdatum: 06.10.2009  
Erteilungsdatum: 17.11.2015

**OFFENLEGUNGSSCHRIFTEN**

96 | Frese, I.; Klotzbücher, T.:

**GLUKOSESENSOR**

Offenlegungsschrift: DE 10 2014 210 440 A1; Prioritätsdatum: 03.06.2014  
Veröffentlichungsdatum: 03.12.2015

97 | Hofmann, C.; Krtschil, U.:

**MIKROSTRUKTURBAUTEIL UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG**

Offenlegungsschrift: JP 2015-511892 T2; Prioritätsdatum: 16.03.2012  
Veröffentlichungsdatum: 23.04.2015

98 | Baßler, M.; Drese, K.S.; Latta, D.:

**FLUIDIC SYSTEM, USE, AND METHOD FOR OPERATING THE SAME**

Offenlegungsschrift: US2015047732 AA; Prioritätsdatum: 23.03.2013  
Veröffentlichungsdatum: 19.02.2015

99 | Frese, I.; Klotzbücher, T.:

**GLUCOSE SENSOR**

Offenlegungsschrift: WO 2015/185529 A1; Prioritätsdatum: 03.06.2014  
Veröffentlichungsdatum: 10.12.2015

# IMPRESSUM

## REDAKTION

Dr. Stefan Kiesevalter  
Antonia Winkler

## SATZ UND GESTALTUNG

2m Advertising GmbH  
[www.2m-advertising.de](http://www.2m-advertising.de)

## DRUCK

H. Kunze GmbH und Partner KG  
[www.kunze-und-partner.de](http://www.kunze-und-partner.de)

## REDAKTIONSSCHLUSS

03/2016

## BILDQUELLEN

Titel: fotolia, Wikimedia Commons  
Seite 6, 15, 24-47, 51-54, 55 oben,  
56-59, 64, 66, 69, 71, 72, 75:  
Tobias Hang, Fraunhofer ICT-IMM  
Seite 11: Wikimedia Commons  
Seite 12, 13: Fraunhofer ICT  
Seite 50: Xenlux AG  
Seite 55 unten: Wikimedia Commons  
Seite 60, 61: plan|4 architekten GmbH  
Seite 76: Mumbächer Fotografie

## KONTAKT

Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie,  
Institutsteil ICT-IMM

Carl-Zeiss-Straße 18-20  
55129 Mainz

Telefon +49 6131 990-0  
Fax +49 6131 990-205

[info@imm.fraunhofer.de](mailto:info@imm.fraunhofer.de)  
[www.imm.fraunhofer.de](http://www.imm.fraunhofer.de)

© Fraunhofer ICT-IMM



## **Kontakt**

### **Fraunhofer ICT-IMM**

Carl-Zeiss-Straße 18-20

55129 Mainz

Telefon +49 6131 990-0

Fax +49 6131 990-205

[info@imm.fraunhofer.de](mailto:info@imm.fraunhofer.de)

[www.imm.fraunhofer.de](http://www.imm.fraunhofer.de)