



**Fraunhofer**  
FEP

Fraunhofer-Institut für Organische  
Elektronik, Elektronenstrahl- und  
Plasmatechnik FEP

# Jahresbericht 2022/23



# Inhalt

---

Grußwort .....	2
Ansprechpartner/innen .....	4
Kuratorium .....	6
Organigramm .....	7
Das Institut in Zahlen .....	8
Geschäftsfelder .....	12
Beschichtung von Bauteilen .....	14
Beschichtung von metallischen Platten und Bändern, Energietechnik .....	16
Entwicklung von Elektronenstrahl-Systemen und -Technologien .....	18
Flexible Produkte .....	20
Medizinisch-Biotechnologische Applikationen .....	22
Mikrodisplays und Sensorik .....	24
Präzisionsbeschichtung .....	26
Systeme .....	28
Werkstoffkunde / Analytik .....	30
Die Fraunhofer-Gesellschaft .....	34
Fraunhofer Verbund Light & Surfaces .....	35
Mitgliedschaften .....	36
Abschlussarbeiten .....	37
Veröffentlichungen .....	38
Schutzrechte .....	41







*Prof. Dr. Elizabeth von Hauff,  
Institutleiterin Fraunhofer FEP*

## Grußwort

---

Werte Partner des Fraunhofer FEP,  
werte Leserinnen und Leser,

im Jahr 2021 habe ich die Leitung des Fraunhofer FEP übernommen und der Jahresbericht des vergangenen Jahres spiegelt unsere Vorfreude und unseren Optimismus auf neue Horizonte, Projekte und Pläne wider. Im Jahr 2022 haben wir als Institut begonnen, viele der geplanten Schritte umzusetzen, mussten aber auch einige unerwartete neue Hürden überwinden. Im Februar 2022 übergab Prof. Kirchhoff den Staffelstab der Institutsleitung an mich, und ich bin dankbar für die sechs Monate, die wir gemeinsam an der Spitze des Fraunhofer FEP verbracht haben. Parallel dazu habe ich begonnen, den Lehrstuhl für Beschichtungstechnologien für die Elektronik an der TU Dresden aufzubauen. Damit wurde bereits eine vielversprechende Basis für künftige Synergien und gemeinsame Forschung geschaffen, zum Beispiel auf dem Gebiet der Forschung im Bereich Energie und Halbleitertechnologien. Auch erste Mitarbeitende konnten wir dafür gewinnen. Sie fördern den Austausch und den Ausbau der wissenschaftlichen Exzellenz am Institut. Weiterhin bringen die Forschenden des Institutes Ihr Know-how in verschiedene Netzwerke ein, wie zum Beispiel in das Innovationscluster HZwo zum Thema Wasserstoff oder im Exzellenzcluster CeTI der TU Dresden zum taktilen Internet. Besonders freut es mich, dass einer unserer

Doktoranden im Jahr 2023 eines der renommierten Stipendien erhalten hat, um im Rahmen eines von der Boysen-Stiftung geförderten Projekts an der TU Dresden auf dem Gebiet der Wasserstofftechnologien zu forschen.

Trotz anfänglicher Unsicherheiten, die uns auch 2022 durch die weltweite pandemische Lage begleiteten, ist es gelungen, mehrere Großprojekte im Rahmen öffentlicher Förderungen auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene einzuwerben. So wurde die Umsetzungsphase des Projektes „EdgeVision“ im Rahmen der RUBIN-Förderung des Bundes (Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation) bewilligt. Damit ist der Grundstein für den Aufbau eines regionalen Netzwerkes zur Entwicklung einer hochperformanten ultra-low-power Edge-AI, Visualisierungs- und Sensor-Plattform für sichere IoT und Mensch-Technik-Interaktion in Ostsachsen gelegt.

Dank großer Anstrengungen unserer Wissenschaftler ist es gelungen, neue Projekte mit Industriepartnern aus Deutschland und der ganzen Welt zu akquirieren, die wesentlich zur stabilen Finanzierung des Instituts beitragen. In diesem Zusammenhang konnte der Bereich Mikrodysplays und Sensoren im



## **Dank der Innovationskraft unserer Kolleginnen und Kollegen arbeiten wir mit ressourcenschonenden Prozessen an wegweisenden Technologien für die Zukunft.«**

**Prof. Dr. Elizabeth von Hauff,**  
Institutsleiterin Fraunhofer FEP

Jahr 2022 den drittgrößten Industrieauftrag in der Fraunhofer-Gesellschaft akquirieren.

Um alle notwendigen Prozesse, insbesondere in der Verwaltung und im Projektcontrolling, zu gewährleisten, mussten im vergangenen Jahr große Herausforderungen gemeistert werden. Die Einführung eines vollumfänglichen SAP-Portfolios im Januar brachte eine Vielzahl von Änderungen und eine hohe zusätzliche Arbeitsbelastung für die gesamte Belegschaft mit sich. Allen Mitarbeitenden gilt mein Dank und meine Bewunderung für ihre unglaubliche Geduld, Kooperation, Lernbereitschaft und Flexibilität bei der Suche nach kurzfristigen Lösungen zur Sicherung des täglichen Betriebs.

Im heißen Sommer konnten wir nach langer Pause unsere Türen endlich wieder für Publikum öffnen und vielen Interessierten Besuchern unsere Forschung während der Dresdner Langen Nacht der Wissenschaften näherbringen. Anschließend starteten weitere große Messepräsenzen des Institutes, u. a. auf der AACHEMA und der electronica – den Weltleitmesse für Prozessindustrie bzw. Elektronik. Auch auf mehreren Fachkonferenzen wie der BIOEurope wurden die neuen Forschungsergebnisse des Fraunhofer FEP live und mit großem Interesse diskutiert. Themen wie die effektive Metallgewinnung mit elektronenstimulierten Mikroorganismen durch Biolaugung oder die modulare AR-Serviceplattform für die industrielle Fertigung stießen dabei auf vielfältiges Interesse.

Als passionierte Radfahrerin war es mir im Herbst 2022 eine besondere Freude, gemeinsam mit unseren Kolleginnen und Kollegen und allen Dresdner Fraunhofer-Instituten beim Stadtradeln einen respektablen 6. Platz zu erradeln. Aber

nicht nur mit unserer Forschung – z. B. an Dünnschichttechnologien für die Energiewende für smarte Fenster – oder mit dem Rad wollen wir zu einem guten Klima beitragen. Beim Bau unserer neuen Labore auf der Bodenbacher Straße haben wir von Beginn an großer Wert auf die Nutzung energiesparender Technik und Materialien gelegt. Das Fraunhofer FEP ist außerdem das erste Institut in der gesamten Forschungslandschaft Deutschlands mit einem zertifizierten Energiemanagementsystem!

Das Fraunhofer FEP hat im Jahr 2022 einen Strategieprozess gestartet, dessen Ergebnisse wir 2023 einem externen Gremium vorstellen werden. Ziel war es, eine große Anzahl von Kolleginnen und Kollegen aus allen Abteilungen in diesen Prozess einzubinden, um einen Fahrplan für die nächsten fünf Jahre zu definieren. Wir konzentrieren uns dabei auf die wissenschaftlichen Bereiche sowie auf organisatorische Themen von der IT bis zum Personalwesen. Unser Ziel ist es, nachhaltige Ansätze zu definieren, um unser Institut für die Zukunft zu rüsten und eine Plattform zu schaffen, mit der wir uns immer wieder neu an den Bedürfnissen unserer Kunden und Partner, an veränderten äußeren Rahmenbedingungen und am Wohl unserer Mitarbeiter orientieren können.

Abschließend möchte ich allen unseren Mitarbeitenden sowie unseren Geldgebern und Partnern aus Industrie und Wissenschaft für ihr anhaltend großes Vertrauen, ihre Unterstützung und ihre Zusammenarbeit danken!

In unserem Jahresbericht gehen wir ausführlich auf die Highlights der letzten 12 Monate ein. Viel Spaß beim Lesen und ich freue mich auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit!

# Ansprechpartner/innen

---



**Prof. Dr. Elizabeth von Hauff**

Institutsleiterin

Telefon +49 351 2586-0  
elizabeth.von.hauff@fep.fraunhofer.de



**Veit Mittag**

Verwaltungsleiter

Telefon +49 351 2586-405  
veit.mittag@fep.fraunhofer.de



**Ines Schedwill**

Marketing

Telefon +49 351 8832-238  
ines.schedwill@fep.fraunhofer.de



**Annett Arnold**

Unternehmenskommunikation

Telefon +49 351 2586-452  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de





**Dr. Burkhard Zimmermann**

Bereich Elektronenstrahl  
Quellen – Prozesse – Anwendungen

Telefon +49 351 2586-386  
burkhard.zimmermann@  
fep.fraunhofer.de



**Dr. Ulla König**

Bereich Medizinische und  
biotechnologische Applikationen

Telefon +49 351 2586-360  
ulla.koenig@fep.fraunhofer.de



**Dr. Nicolas Schiller**

Bereich Plasmatechnik

Telefon +49 351 2586-131  
nicolas.schiller@fep.fraunhofer.de



**Dr. Uwe Vogel**

Bereich Mikrodisplays und Sensorik

Telefon +49 351 8823-282  
uwe.vogel@fep.fraunhofer.de



**Dr. Michiel Top**

Bereich Systeme

Telefon +49 351 2586-355  
michiel.top@fep.fraunhofer.de

# Kuratorium

## Kuratoriumsvorsitz

### **Prof. Dr. Herwig Buchholz**

Merck KGaA, Global Head of Group Corporate Sustainability  
Kuratoriumsvorsitzender

### **Dipl.-Ing. Ralf Kretzschmar**

Belimed Life Science AG, Chief Executive Officer  
Stellvertretender Kuratoriumsvorsitzender

## Kuratoriumsmitglieder/innen

### **MRin Dr. Annerose Beck**

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus, Referatsleiterin  
Bund-Länder-Forschungseinrichtungen

### **Dr. Bernd Fischer**

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Leiter Anlagenbau  
Teilungen

### **Prof. Dr.-Ing. habil. Gerald Gerlach**

TU Dresden, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Institut für Festkörperelektronik, Direktor

### **Dr. Ulrike Helmstedt**

Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e. V.

### **Dipl.-Ing. Peter G. Nothnagel**

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Referatsleiter Strukturentwicklung, wirtschaftsrelevante Umwelt- und Energiefragen



Foto der 33. Kuratoriumssitzung am 10. Mai 2022.

### **Dipl.-Ing. Tino Petsch**

3D-Micromac AG, Vorstandsvorsitzender

### **Dipl.-Ing. Michael Protzmann**

ALD Vacuum Technologies GmbH, Technischer Geschäftsführer

### **Prof. Dr. Michaela Schulz-Siegmund**

Universität Leipzig, Medizinische Fakultät, Institut für Pharmazie, Lehrstuhl für Pharmazeutische Technologie

### **Pia von Ardenne**

VON ARDENNE GmbH, Member of Executive Management

### **MR Christoph Zimmer-Conrad**

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr  
Referatsleiter Technologiepolitik, Technologieförderung

---

## Kuratoriumsgäste

### **Dr. Patrick Hoyer**

Fraunhofer-Gesellschaft, Institutsbetreuer

### **Marcel König**

Meyer Burger (Germany) AG, Head of Research and Development

### **Jörg Wittich**

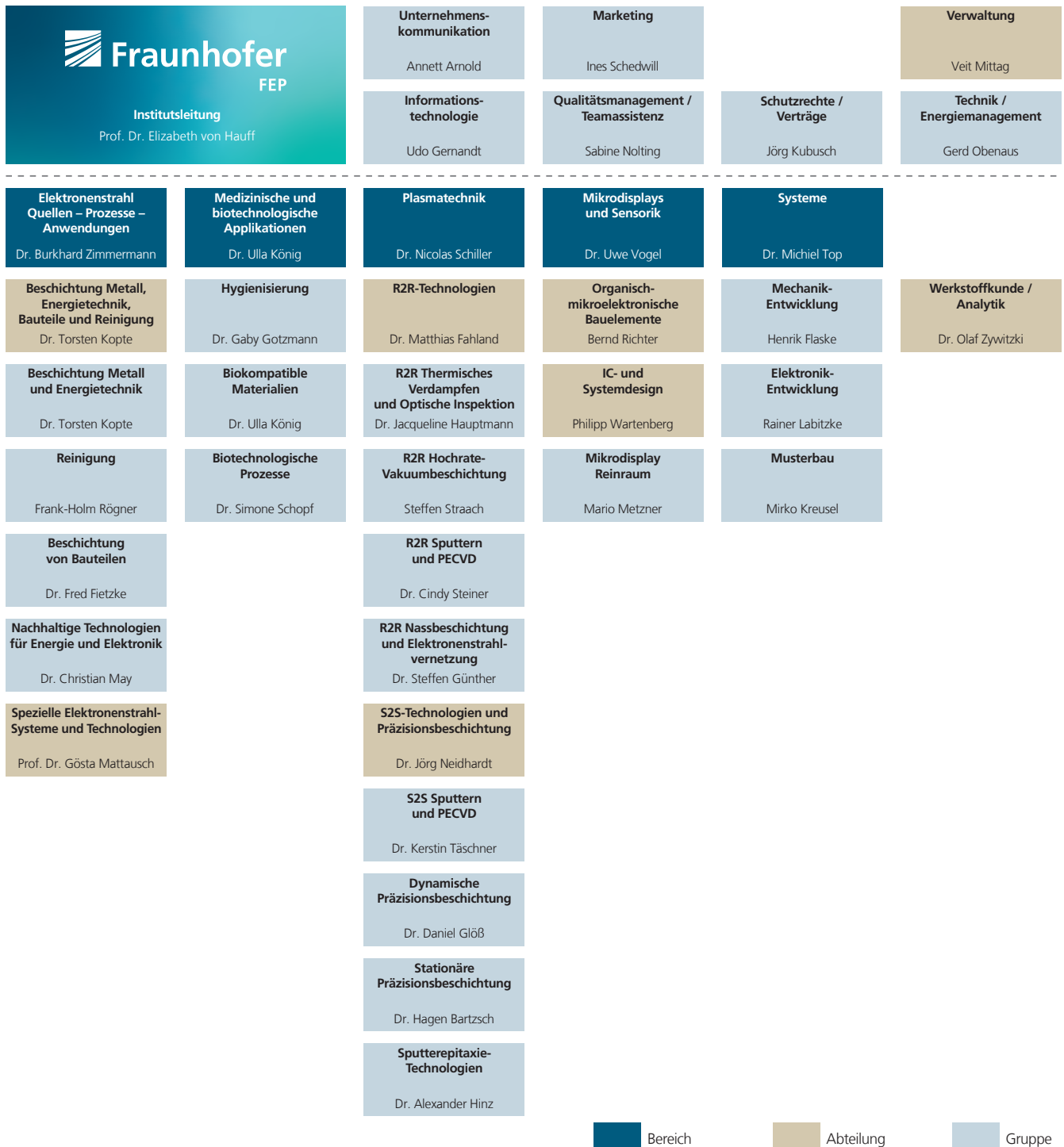
ALD Vacuum Technologies GmbH, Geschäftsführer

Diese Liste stellt den Stand zur Kuratoriumssitzung 2022 dar. Für eine aktuelle Version besuchen Sie bitte unsere Webseite unter:

 <https://s.fhg.de/D83>



# Organigramm



Das abgebildete Organigramm stellt den Stand von 10/2022 dar. Eine aktuelle Fassung finden Sie auf unserer Webseite unter:

 <https://s.fhg.de/mw9>

# Das Institut in Zahlen

## Finanzierung

Das Fraunhofer FEP konnte durch direkte Aufträge aus der Industrie 12,1 Mio. € erwirtschaften. Aus öffentlichen Projekten, gefördert von EU, Bund und Ländern, wurden Erträge in Höhe von 9,2 Mio. € erzielt. Davon konnte ein Anteil in Höhe von 3,8 Mio. € durch öffentlich geförderte Projekte gemeinsam mit mittelständigen Unternehmen eingeworben werden. Der Grundfinanzungsverbrauch lag bei 7,1 Mio. € im Betriebshaushalt.

## Investitionsaufwand

Der Gesamtaufwand aus Betriebs- und Investitionsaufwand betrug 28,4 Mio. €. Im Betrachtungszeitraum wurden 1,2 Mio. € in Gerätetechnik, Bau und Infrastruktur investiert.

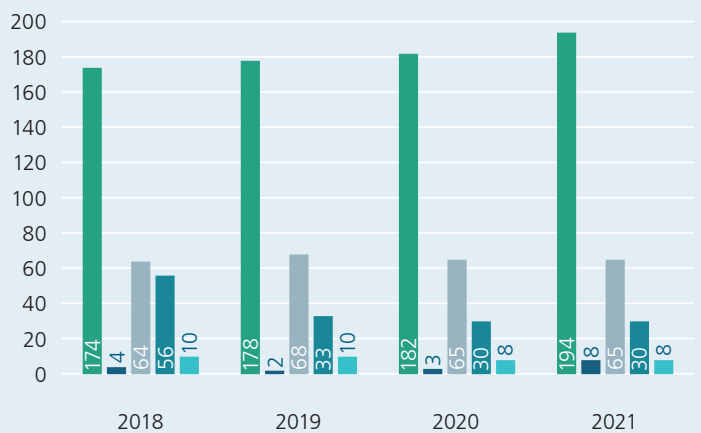
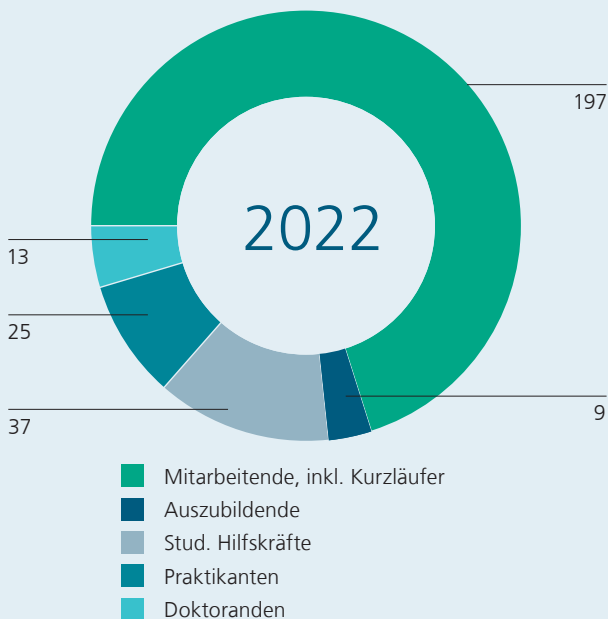
## Personal- und Sachaufwand

Der Anteil der Personalaufwendungen belief sich auf 14,6 Mio. €, dies entspricht 53,6 Prozent des Betriebshaushalts in Höhe von 27,2 Mio. €. Der Sachaufwand betrug 12,6 Mio. €.

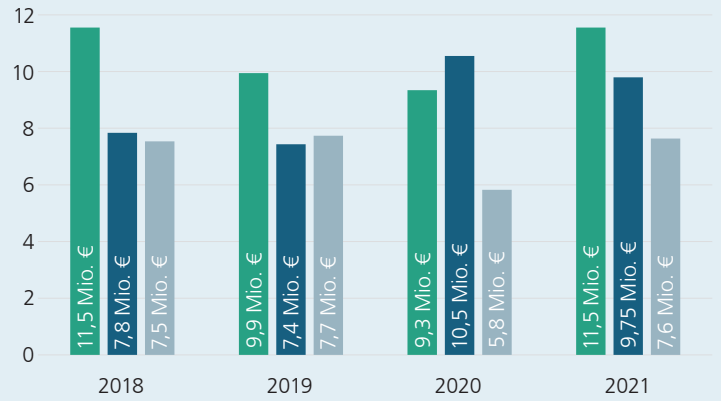
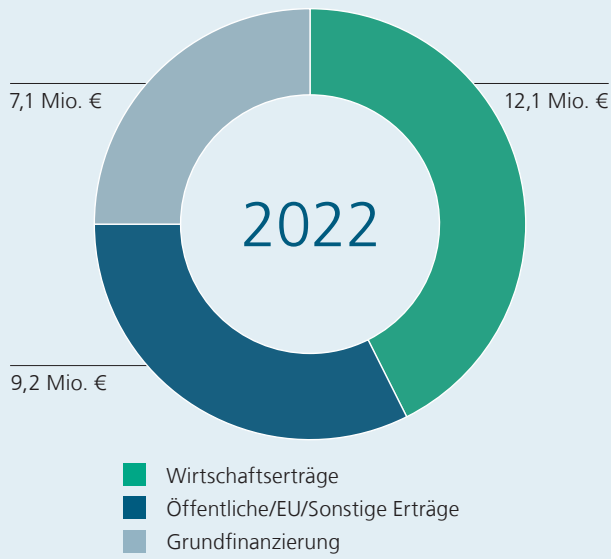
## Personalentwicklung

Im vergangenen Jahr waren 197 Mitarbeitende, davon 9 Auszubildende, und zusätzlich 25 Praktikanten sowie 37 wissenschaftliche Hilfskräfte im Institut tätig. Von den 75 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die als Wissenschaftler beschäftigt waren, arbeiteten 13 Mitarbeitende zusätzlich an ihren Promotionsthemen. Der Frauenanteil im Wissenschaftsbereich betrug 26 Prozent.

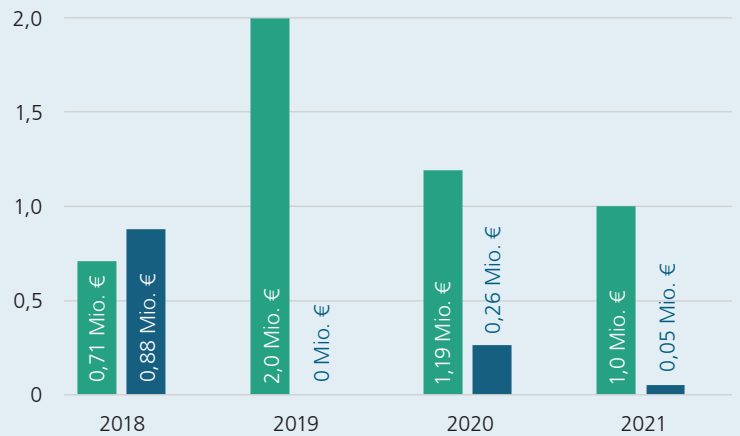
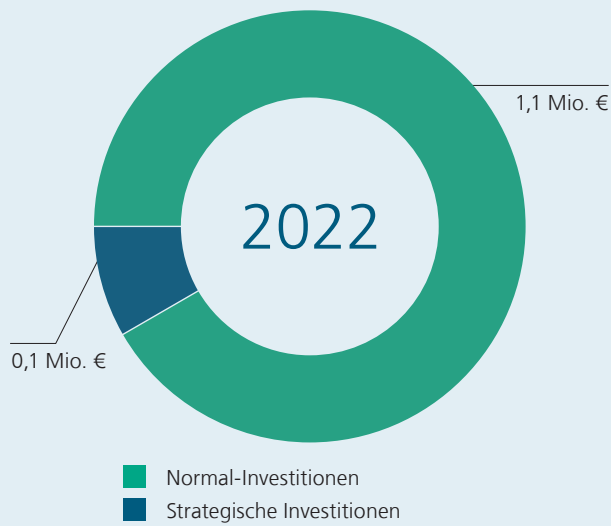
## Personalentwicklung



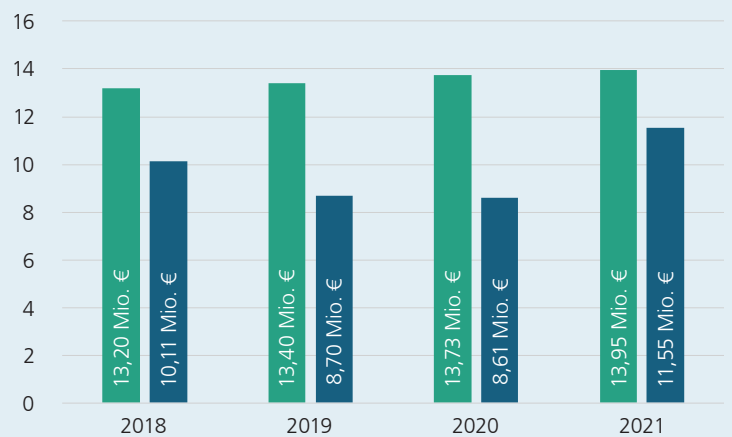
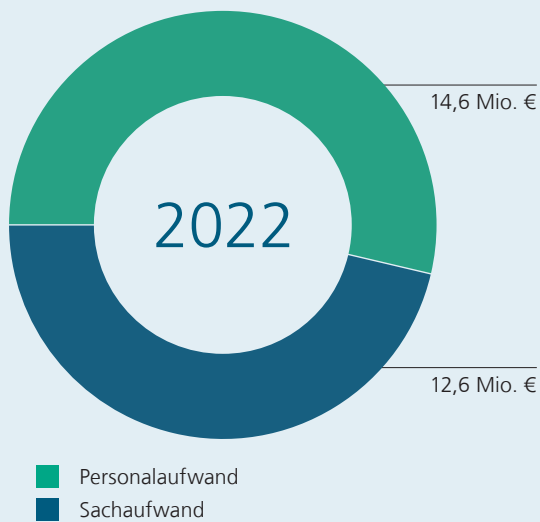
### Finanzierung



### Investitionsaufwand



### Personal- und Sachaufwand





# Aus der Forschung

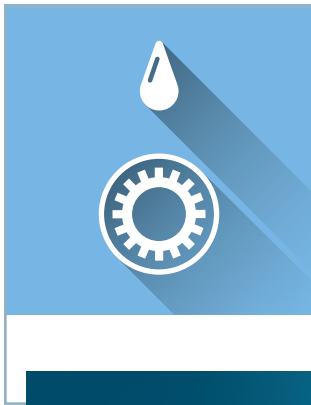
---

Geschäftsfelder .....	12
Beschichtung von Bauteilen .....	14
Beschichtung von metallischen Platten und Bändern, Energietechnik .....	16
Entwicklung von Elektronenstrahl-Systemen und -Technologien .....	18
Flexible Produkte .....	20
Medizinisch-Biotechnologische Applikationen .....	22
Mikrodisplays und Sensorik .....	24
Präzisionsbeschichtung .....	26
Systeme .....	28
Werkstoffkunde / Analytik .....	30



# Geschäftsfelder

---



**Dr. Fred Fietzke**

Beschichtung von Bauteilen

---

Telefon +49 351 2586-366  
fred.fietzke@fep.fraunhofer.de



**Dr. Torsten Kopte**

Beschichtung von metallischen Platten  
und Bändern, Energietechnik

---

Telefon +49 351 2586-120  
torsten.kopte@fep.fraunhofer.de

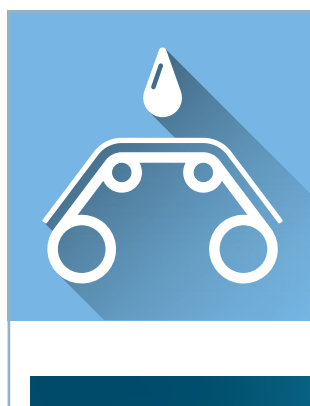


**Prof. Dr. Gösta Mattausch**

Entwicklung von Elektronenstrahlssystemen  
und -technologien

---

Telefon +49 351 2586-202  
goesta.mattausch@fep.fraunhofer.de



**Dr. Matthias Fahland**

Flexible Produkte

---

Telefon +49 351 2586-135  
matthias.fahland@fep.fraunhofer.de



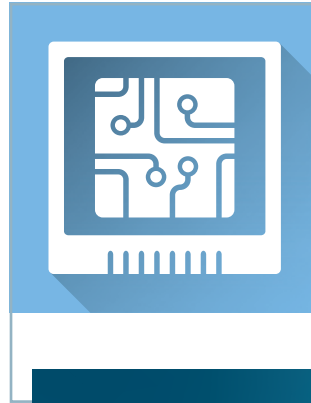


**Dr. Ulla König**

Medizinisch-biotechnologische  
Applikationen

---

Telefon +49 351 2586-360  
ulla.koenig@fep.fraunhofer.de



**Dr. Uwe Vogel**

Mikrodisplays und Sensorik

---

Telefon +49 351 8823-282  
uwe.vogel@fep.fraunhofer.de



**Dr. Jörg Neidhardt**

Präzisionsbeschichtung

---

Telefon +49 351 2586-280  
joerg.neidhardt@fep.fraunhofer.de

# Beschichtung von Bauteilen

Die PVD-Beschichtung von Werkzeugen und Bauteilen mit reibungs- und verschleißmindernden Schichten sowie zum Zwecke des Korrosionsschutzes hat eine lange Tradition am Fraunhofer FEP. Für Anwendungen in der Gebrauchsgüterindustrie sowie der Energie- und Medizintechnik werden zudem Schichten mit spezifischen optischen und elektrischen Eigenschaften, Biokompatibilität sowie Kratz- und Abriebbeständigkeit abgeschieden. Auch die Einstellung bestimmter Benetzungseigenschaften wie die vollflächige Bedeckung (Superhydrophilie) oder deren vollständige Unterdrückung (Superhydrophobie) gewinnen in diesem Zusammenhang immer mehr an Bedeutung und verlangen unkonventionelle Lösungen.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Beschichtung von Kleinteilen als Schüttgut, z. B. für den Korrosionsschutz von Verbindungselementen oder die Funktionalisierung von metallischen, keramischen oder glasartigen Granulaten und Pulvern.

Als Beschichtungstechnologien kommen neben dem Puls-Magnetron-Sputtern in Einzel-, Doppel- und Mehrquellenanordnung vor allem die Hochrate-Elektronenstrahl- sowie die thermische Verdampfung zum Einsatz. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Entwicklung und Applikation von Plasmaquellen für die Substratvorbehandlung sowie die physikalische und chemische Dampfphasenabscheidung.



# Komplett benetzende Oberflächen für neuartige Wärmepumpen

**Kontakt:** Dr. Fred Fietzke | Tel. +49 351 2586-366 | fred.fietzke@fep.fraunhofer.de

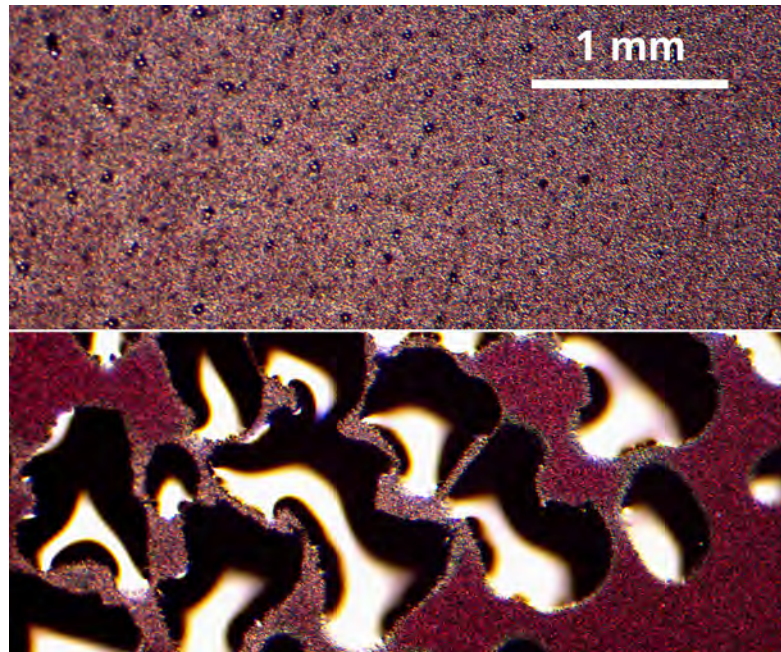
Im Leitprojekt ElKaWe arbeiten sechs Fraunhofer-Institute an der Entwicklung elektrokalendarischer Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen. Das Fraunhofer FEP ist mit benetzungsfördernden Schichten zur Gewährleistung eines schnellen Wärmetransports beteiligt.

Wärmepumpen auf der Basis von Kompressoren werden zum Heizen und Kühlen verwendet und sind beim Neubau von Einfamilienhäusern inzwischen der am häufigsten installierte Heizungstyp. Die in den Systemen eingesetzten Kältemittel sind jedoch zumeist umwelt- und gesundheitsschädlich und werden durch den Gesetzgeber mehr und mehr reglementiert. Festkörperbasierte Wärmepumpen hingegen arbeiten mit unbedenklichen Fluiden wie Wasser, sind geräuschlos und weisen perspektivisch eine den Kompressor-basierten Systemen überlegene Effizienz auf.

Um dieser neuen Technologie zum Durchbruch zu verhelfen, haben sich sechs Fraunhofer-Institute – IPM, IKTS, IAP, LBF, IAF und FEP – im Leitprojekt ElKaWe zusammengeschlossen und arbeiten gemeinsam an der Entwicklung von elektrokalendarischen Wärmepumpen. Die Basis hierfür bilden keramische und polymere Materialien, die auf eine Änderung der elektrischen Feldstärke mit einem instantanen Temperatursprung reagieren. Je schneller die dabei erzeugte Wärme abgeführt werden kann, desto leistungsfähiger ist die Pumpe.

In dem patentierten Konzept zum Wärmetransport verdampft bzw. kondensiert das Arbeitsfluid an den aktiven Oberflächen periodisch, um Wärme aufzunehmen oder abzugeben. Um in den angestrebten Leistungsbereich zu gelangen, muss dieser Wechsel bis zu zehnmal pro Sekunde stattfinden. Dies ist nur möglich, wenn die Benetzung durch einen vollflächigen, dünnen Fluidfilm erfolgt, wodurch der Wärmeübergang an der Grenzfläche maximiert wird.

Am Fraunhofer FEP wurden hierzu technologische Ansätze für eine Behandlung bzw. Beschichtung von elektrokalendarischen Keramik- und Polymermaterialien entwickelt, die deren



*Oben: Lichtmikroskopische Aufnahme von ersten Kondensationskeimen auf einer superhydrophilen Keramik-Oberfläche, unten: Restbenetzung kurz vor der Rücktrocknung*

vollflächige Benetzung innerhalb kürzester Zeit sicherstellen und darüber hinaus diesen Effekt auch für lange Zeiträume (Monate bis Jahre) aufrechterhalten. Das Kernstück bilden hierbei photokatalytisch aktive Materialien mit einer definiert einstellbaren Oberflächenstruktur. Statische und zeitabhängige Kontaktwinkelmessungen sowie mikroskopische Untersuchungen der Benetzungsvorgänge in verschiedenen Gasumgebungen und Druckbereichen komplettieren die Betrachtungen und leisten einen Beitrag zum besseren Verständnis der theoretischen Grundlagen der Benetzungsdynamik realer Festkörper.

Das Projekt wird fortgesetzt und läuft noch bis Ende 2024.

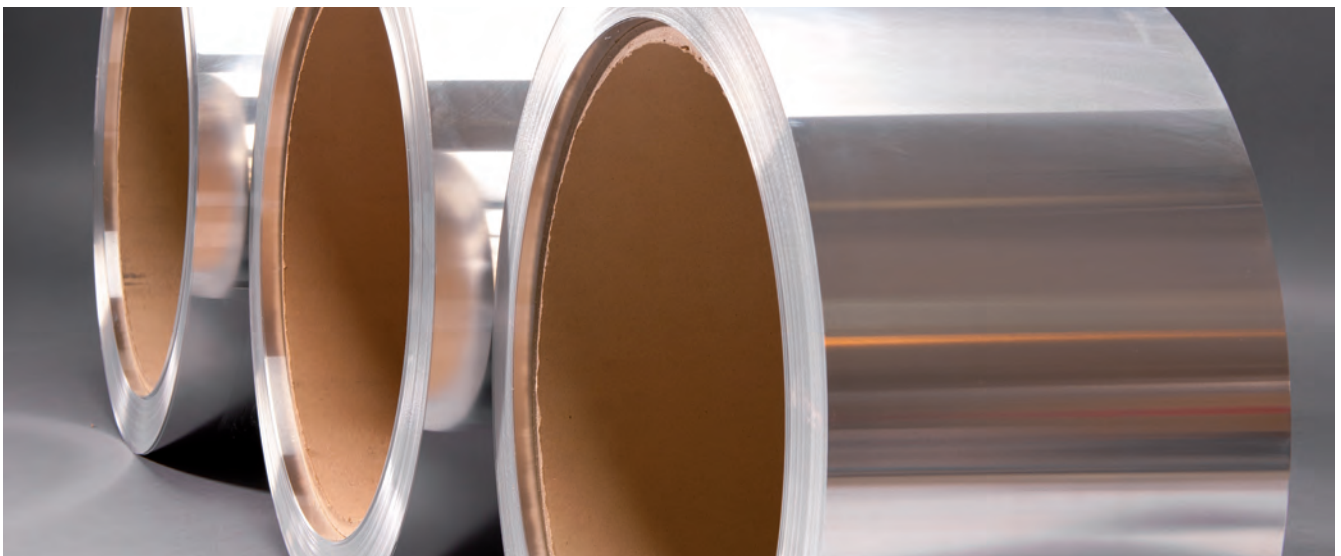
*Gefördert im Rahmen der Internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft.  
Förderkennzeichen: 840 005.*



# Beschichtung von metallischen Platten und Bändern, Energietechnik

Das Geschäftsfeld umfasst die Vakuumbeschichtung von Platten und metallischen Bändern für die verschiedensten Anwendungen in den Feldern Maschinenbau, Architektur, Verpackung, Transport, Beleuchtung und Umwelt. Korrosionsschutzschichten auf der Basis von Zink, Zinn oder Aluminium stellen hierbei eines unserer klassischen Tätigkeitsfelder im Bereich der Stahlbandbeschichtung dar. Auf dem Gebiet der Energietechnik beschäftigen wir uns mit verschiedenen Themen wie zum Beispiel der Photovoltaik, dem Transport und der Speicherung elektrischer Energie. Wir entwickeln Technologien zur Abscheidung dünner funktionaler Schichten für Hochleistungssolarzellen, verlustarme Kabel oder elektrische Energiespeicher.

Im Geschäftsfeld werden überwiegend Vakuum-Bedampfungsprozesse eingesetzt, da für die Beschichtung von Platten und metallischen Bändern meist ein hoher Flächendurchsatz und sehr wirtschaftliche Verfahren mit hoher Abscheiderate gefragt sind. Zur Verbesserung der Schichteigenschaften wurden spezielle Plasmaaktivierungsverfahren für die Bedampfung entwickelt, die für die Beschichtung großer Flächen mit hoher Abscheiderate angepasst wurden. Als Versuchs- und Pilotanlage steht die Inline-Vakuumbeschichtungsanlage für Platten und Metallbänder „MAXI“ zur Verfügung.



# Aufskalierung von PVD- und CVD-Methoden zur Abscheidung von CNT für Batterieanwendungen

**Kontakt:** Dr. Torsten Kopte | Tel. +49 351 2586-120 | torsten.kopte@fep.fraunhofer.de

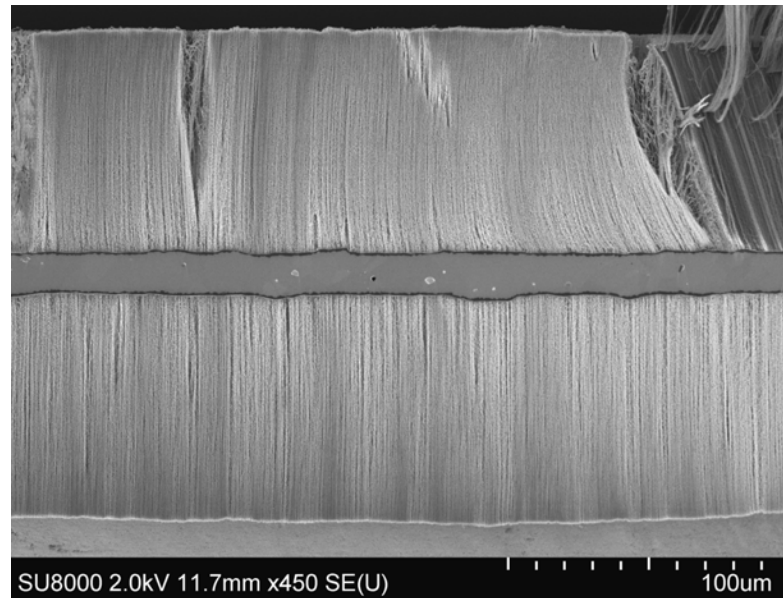
In den letzten drei Jahren etablierte sich eine enge Zusammenarbeit mit dem US-amerikanischen Start-up Zeta Energy, welches die Entwicklung industrieller Prozesse zur Abscheidung von CNT (carbon nanotubes) für Batterieanwendungen zum Ziel hat.

Im Jahr 2019 trat die Firma Zeta Energy mit der Aufgabe an uns heran, sehr dünne Metall- und Metalloxid-Schichten auf dünnen Metallbändern abzuscheiden. Diese Schichten dienen als Katalysator für das Wachstum von CNT (carbon nanotubes, d. h. Kohlenstoffnanoröhrchen), welche im neuartigen Batterie-konzept des Kunden als Anode fungieren. Dabei sollten das Magnetronspütern und die Elektronenstrahl-Verdampfung als Abscheidetechnologien vergleichend bewertet werden. Für die Verdampfung kam unsere Beschichtungsanlage für metallische Bänder und Platten MAXI und für die Sputterprozesse die Anlage ILA 900 zum Einsatz.

Im weiteren Projektverlauf sollte die von Zeta Energy im Labor entwickelte Niederdruck-CVD-Technologie zur Abscheidung von CNT mit der Pilotanlage MAXI aufskaliert werden. Hierfür wurde zunächst das Konzept für ein CVD-Modul, welches in die MAXI integriert werden kann, erarbeitet. In dieser Phase entwickelte sich eine enge, vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Kunden. Wöchentliche virtuelle Beratungen und regelmäßige Diskussionen vor Ort am Fraunhofer FEP etablierten sich rasch. Das CVD-Modul wurde im Bereich Systeme konstruiert und gefertigt. Anfang 2022 konnte es in der MAXI montiert werden.

Anschließend erfolgte gemeinsam mit Experten von Zeta Energy die Inbetriebnahme des Moduls. Dabei wurden die bei Zeta Energy im Labor gefunden Parameter übertragen und sehr bald gelang die erfolgreiche Abscheidung der ersten CNT in der Anlage MAXI.

Es folgten systematische Untersuchungen des Einflusses der Prozessparameter auf das Wachstum der CNT. Auf diesem Weg gelang es, die Wachstumsprozesse der CNT immer besser



*Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme von beidseitig auf Kupferfolie abgeschiedenen CNT*

zu verstehen und zu beherrschen. Entscheidend hierfür war auch das sehr engagierte Mitwirken der Abteilung Analytik des Fraunhofer FEP. Hochaufgelöste elektronenmikroskopische Aufnahmen bieten einen beeindruckenden Blick auf die aufgewachsenen CNT. Letztlich konnten ca. 80 µm lange, vertikal ausgerichtete CNT beidseitig auf einer 15 µm dicken Kupferfolie abgeschieden und im Querschnitt abgebildet werden.

Die Zusammenarbeit mit Zeta Energy soll fortgeführt werden. Im Fokus wird dabei der Übergang zur Rolle-zu-Rolle Beschichtung stehen mit dem Ziel, die Produktivität deutlich zu erhöhen. Wir freuen uns darauf, neue Herausforderungen in enger Zusammenarbeit zu bewältigen.

# Entwicklung von Elektronenstrahl-Systemen und -Technologien

Elektronenstrahlen sind äußerst vielseitige Werkzeuge für die Materialbearbeitung, Umwelttechnik, Oberflächenveredelung, medizinische wie technische Bildgebung, Prozesskontrolle und Analytik. Sie vereinen eine Fülle physikalischer, chemischer und biologischer Wirkungen mit hoher energetischer Effizienz, exzellenter Präzision und technologischer Flexibilität.

Die intensive, lokal und zeitlich präzise kontrollierbare Erwärmung von Festkörpern durch fokussierte Elektronenstrahlen kann zum Schweißen, Mikrostrukturieren und Verdampfen (mit den höchsten technisch erzielbaren Raten) sowie für die Additive Fertigung und Bearbeitung komplexer Bauteile vorteilhaft genutzt werden. Chemische Effekte bewirken die energieeffiziente und hochproduktive Härtung von Lacken, Modifizierung von Kunststoffen, plasmachemische Synthesen sowie den Schadstoffabbau in Abwässern und Abgasen. Die antimikrobielle und fungizide Wirkung von Elektronen ist ein biologischer Nutzeffekt. So lassen sich Medizinprodukte, wie Werkzeuge und Verpackungen, sicher sterilisieren. Die chemiefreie Desinfektion von Saatgut ist ein weiteres Anwendungsbeispiel mit hoher ökologischer Relevanz. Durch Elektronenbehandlung lassen sich aber auch Implantate biokompatibel funktionalisieren und biotechnologische Prozesse stimulieren.

In diesem breitgefächerten Geschäftsfeld entwickeln wir Elektronenstrahl-Quellen sowie deren für unterschiedliche Kundenanforderungen und Aufgaben optimierte Steuerungs- und Versorgungssysteme, qualifizieren aber auch neue Elektronenstrahl-Prozesse für innovative Anwendungen in Forschung und Produktion. Ziel sind anwendungsreife Gesamtlösungen für unsere Kunden – Technologien und Systeme aus einer Hand.



# Teststand TABEA: Elektronenstrahltechnik zur Reinigung von Abgasen und Abwässern sowie PtX-Plasmasynthese

**Kontakt:** Prof. Dr. Gösta Mattausch | Tel. +49 351 2586-202 | goesta.mattausch@fep.fraunhofer.de

Als Strategische Investition des Fraunhofer FEP wurde mit der Firma CREAVAC die mobile Testanlage TABEA zur Reinigung von Abgasen und Abwässern sowie für plasmachemische PtX-Syntheseprozesse auf Basis diverser Elektronenstrahl-Technologien realisiert.

Wirksamer Klimaschutz ist eine große Herausforderung unserer Zeit und erfordert mittelfristig die generelle Abkehr von Förderung und Verwendung fossiler Kohlenstoffquellen nicht nur als Energieträger, sondern auch als Rohstoff für die chemische Industrie. Bei Umstellung der Energieversorgung auf regenerative Quellen sind effiziente Speichertechnologien in großem Umfang nötig, um insbesondere die saisonalen Fluktuationen auszugleichen. Hierfür sind chemische Energiespeicher unabdingbar. Eine defossilisierte Rohstoffversorgung bedingt den Aufbau einer Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft, in der die stoffliche Nutzung von CO<sub>2</sub> als Edukt chemischer Synthesen eine tragende Rolle spielen wird.

Das Fraunhofer FEP hat sich in diesem Kontext zum Ziel gesetzt, die Umsetzung von Kohlenstoffdioxid z. B. mit (künftig grünem) Wasserstoff in atmosphärischen Elektronenstrahl-Plasmen sowie vorteilhafte Energieeffizienz und Konversionsgrade dieses neuartigen, großtechnisch skalierbaren PtX-Verfahrens (Power-to-X, d. h. Herstellung chemischer Energiespeicher und Produktrohstoffe unter Nutzung regenerativ erzeugter Elektroenergie) zu demonstrieren. Dieser Ansatz fußt darauf, dass die zur Überwindung der energetischen oder kinetischen Hemmung exothermer Reaktionen erforderliche Anregung wie auch die Energiezufuhr für endotherme Reaktionen nicht nur thermisch, sondern in Plasmen auch durch direkte und selektive Beeinflussung der Bindungszustände von Molekülen möglich ist. Schlüssel zu hoher Energieeffizienz ist dabei, dass sich die Plasmen thermodynamisch im Nichtgleichgewicht befinden, was es trotz effektiver Anregung der chemisch aktiven Spezies gestattet, die globale Temperatur im Plasma niedrig zu halten. Atmosphärische Elektronenstrahl-Plasmen zeichnen sich zudem durch ihre gleichmäßige Energiedichte und Volumenfüllung aus, was gleichzeitig auch hohe Konversionsgrade verspricht.



*Anlieferung der Testanlage TABEA im Forschungskomplex für »Ressourcen-schonende Energie-Technologien« (RESET) des Fraunhofer-Institutszentrums Dresden im November 2022.*

Auch zu Umwelttechniken, wie der Reinigung von Abgasen und Abwässern, können Elektronenstrahl-Technologien wertvolle Beiträge leisten. Hierbei treten schnelle Elektronen mit den Konstituenten des Gas- oder Flüssigkeitsgemisches in Wechselwirkung und bilden diverse angeregte Spezies sowie Ionen und hochreaktive Radikale, die letztlich zum chemischen Abbau der Schadstoffe führen. Der Energieübertrag erfolgt dabei vorrangig in elektronische Bindungszustände, nicht in Wärme. Das ist mit geringen Energieverlusten verbunden und, wie auch die derart initiierten Reaktionen, ein extrem schneller Prozess. Es genügt also eine sehr kurze Verweildauer im Reaktor, der so trotz hoher Strömungsgeschwindigkeit der Fluide kompakt gestaltbar ist.

Als Plattform für all diese technologischen Elektronenstrahl-Anwendungen wurde im Rahmen einer Strategischen Investition des Fraunhofer FEP zusammen mit der Firma CREAVAC GmbH die containerintegrierte, modular ausstattbare Testanlage TABEA entwickelt und gebaut. Der Container ist mobil, sodass an externen Standorten auch hochgradig explosionsgefährliche Gase prozessiert oder Pilotversuche bei industriellen Anwendern angeboten und direkt vor Ort durchgeführt werden können.



# Flexible Produkte

Flexible Materialien sind in vielen Anwendungen zu finden. Die entscheidenden Faktoren für den praktischen Einsatz sind neben der Freiheit in der Formgebung oft auch die geringe Dicke, damit verbunden das geringe Gewicht, oder eine hohe mechanische Robustheit der Materialien.

Der Kern des Geschäftsfeldes ist die Modifizierung der Oberflächeneigenschaften von flexiblen Materialien. Dafür stehen dem Fraunhofer FEP vielfältige Verfahren zur Verfügung. Eine herausragende Position nimmt die Rolle-zu-Rolle-Beschichtung ein. Dabei handelt es sich um ein hocheffizientes Fertigungsprinzip, das für die preiswerte Herstellung vieler Endprodukte unerlässlich ist. Beispiele dafür finden sich in verschiedenen Branchen. Stellvertretend seien die Lebensmittelverpackung oder die flexible organische Elektronik genannt.

Die Beschichtungen werden je nach Anwendung und Basistechnologie im Vakuum oder unter Atmosphärendruck aufgebracht. Sie zielen darauf ab, die Oberflächeneigenschaften den Einsatzbedingungen exakt anzupassen. Modifiziert werden die Leitfähigkeit der Oberfläche, die optischen Eigenschaften, die Diffusionseigenschaften für Gase und anderes mehr. Oft kommt es auch auf die richtige Kombination mehrerer Eigenschaften an.

Das Fraunhofer FEP ist in einzigartiger Weise in der Lage, Entwicklungsprojekte mit industriellen Kunden von der Konzeption über Machbarkeitsstudien bis hin zur Pilotfertigung und Prozessüberführung beim Projektpartner zu begleiten. Dafür stehen ein hochmotiviertes Team von Mitarbeitern und ein umfangreicher Anlagenpark für die Beschichtung und Charakterisierung der Materialien zur Verfügung.



# Multimodale Röntgen- und hyperspektrale Bildgebung für die Dünnschichtqualitätskontrolle – nanoQI

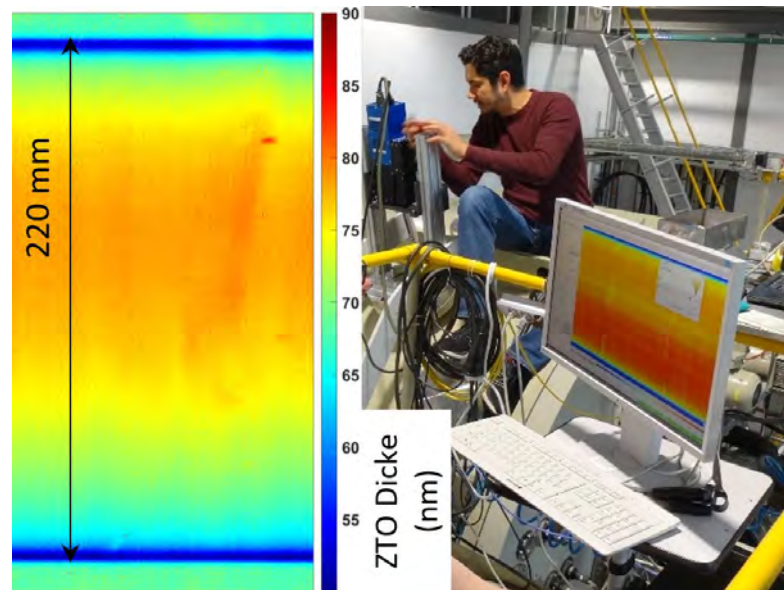
**Kontakt:** Dr. Matthias Fahland | Tel. +49 351 2586-135 | matthias.fahland@fep.fraunhofer.de

Mit NanoQI entsteht eine industrietaugliche, echtzeitfähige Technologie zur in-line Charakterisierung und Qualitätskontrolle von nanoskaligen Dünnschichteigenschaften auf großen Flächen basierend auf Hyper-Spectral Imaging.

Das Fraunhofer FEP koordiniert seit 2020 das EU-Projekt „nanoQI“. Thema des Vorhabens ist die Etablierung einer Technologie zur Qualitätskontrolle von Dünnschichteigenschaften wie z. B. Schichtdicken, Dichten und chemische Zusammensetzungen auf großen Substratflächen in industriellem Maßstab. Diese Technologie ist entscheidend für die Optimierung und Weiterentwicklung von modernen Dünnschichttechnologien in Bezug auf Materialqualität, Reproduzierbarkeit und Produktivität sowie den Technologietransfer dieser Prozesse in die Industrie.

Hierzu werden die Röntgenmessverfahren Röntgenreflektion (XRR) bzw. Röntgenbeugung (XRD) mit Hyperspektraler Bildgebung (HSI) im VIS-NIR Spektralbereich kombiniert und in verschiedene Prozessanlagen an den drei Partnerstandorten Fraunhofer FEP, Fraunhofer IAP und TNO Eindhoven integriert. Die dafür notwendigen Komponenten wie z. B. XRD/XRR Prototypen (Bruker AXS), Spektalkameras und Optiken (Norsk Elektro Optikk, NEO), HSI Lichtquellen (Fraunhofer IWS) sowie die Software zur HSI Datenerfassung, Auswertung und Visualisierung (Fraunhofer IWS, NEO, Fraunhofer FEP) wurden in enger Kooperation im Konsortium entwickelt.

Zur in-line Quantifizierung und Visualisierung der Schichteigenschaften mittels HSI werden Machine Learning Modelle entwickelt, die zunächst mit den Ergebnissen der XRD/XRR Messungen trainiert werden. Nach Implementierung der Modelle in die HSI Software an den Anlagen, kann diese dann eigenständig während des laufenden Beschichtungsprozesses aus den anfallenden HSI Rohdaten die Schichteigenschaften ermitteln und für Prozesssteuerung und -überwachung bereitstellen.



*Schichtdickenverteilung einer Oxidschicht auf PET Substrat und Inbetriebnahme des Hyperspektral Messaufbaus an der coFlex® 600 RzR-Pilotbandbeschichtungsanlage am Fraunhofer FEP zusammen mit Projektpartnern vom Fraunhofer IWS und Norsk Elektro Optikk.*

In der finalen Phase des Projektes steht die Demonstration und industrielle Validierung der bisher entwickelten Methoden und Technologien im Vordergrund. Die NanoQI-Lösungen werden unter möglichst realistischen Betriebs- und Produktionsbedingungen eingesetzt, um Strategien für Upgrades und Optimierungen zu entwickeln, aber auch für die detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse, um schließlich den Weg zur kommerziellen Verwertung zu ebnen.

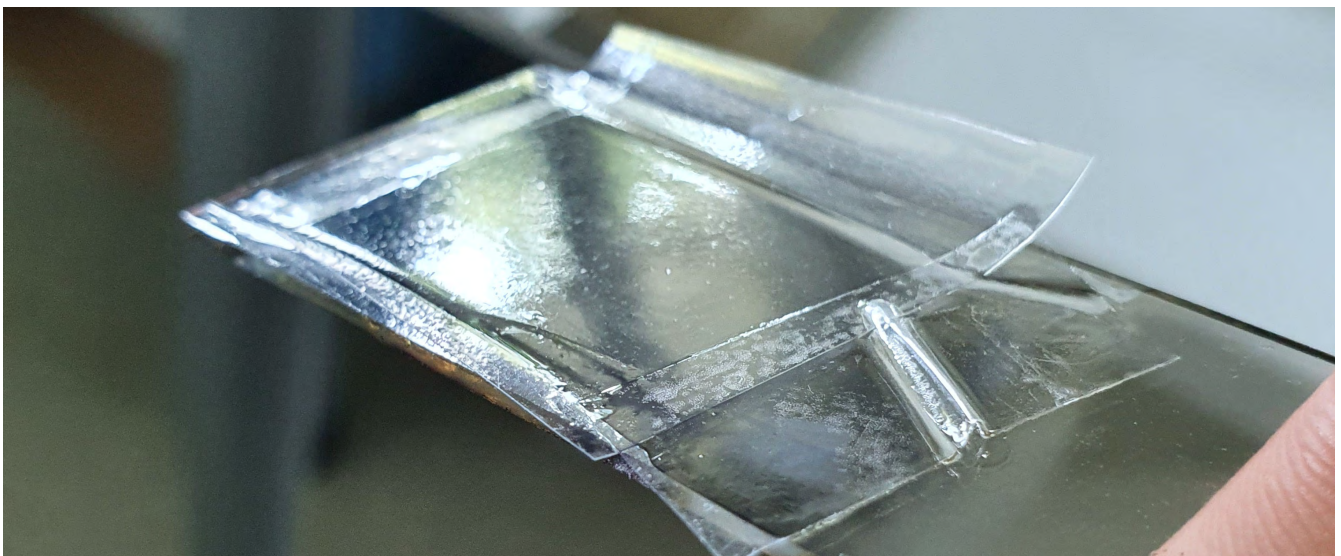
Beispielsweise wird am Fraunhofer FEP die in-line HSI Qualitätskontrolle von <100 nm dünnen Barriere- und Kontaktschichten, abgeschieden durch Rolle-zu-Rolle Magnetronspütern auf bis zu 600 mm breiten und mehrere 100 m langen Polymerfolien, umgesetzt. Dabei konnte für Oxidschichten auf PET bereits eine Schichtdickengenauigkeit von wenigen Nanometern bei einer Ortsauflösung unter 1 mm und einer Bandgeschwindigkeit von mehrere m/min demonstriert werden.

# Medizinisch-Biotechnologische Applikationen

Die gesellschaftspolitischen Herausforderungen unserer Zeit prägen auch die FuE-Aktivitäten des Geschäftsfeldes. Dabei sind wir bestrebt, nachhaltige Prozesse mit Hilfe der Kernkompetenzen des FEP für unterschiedlichste Anwendungen im Life Science und Umweltsektor zu entwickeln. Der sparsame Umgang mit Ressourcen, Recycling und die künftige Erschließung neuer Rohstoffquellen sowie eine dafür umweltschonende und trotzdem bedarfsorientierte Gewinnung sind strategische Forschungsthemen.

Am Fraunhofer FEP arbeitet ein interdisziplinäres Konsortium daran, die technologische Lücke bei den niederenergetischen Elektronenstrahlprozessen von Flüssigkeiten durch die Etablierung der Hybridtechnologie zu schließen, wobei eine kostengünstige, miniaturisierte Elektronenstrahlquelle in einen Bioreaktor integriert wird. Erste Untersuchungen belegen einen biostimulierenden Effekt von niedrig dosierten Elektronen auf Bakterien, wodurch die mikrobielle Erzeugung beschleunigt und effektiver zur Wiedergewinnung von Metallen genutzt werden kann. Neben Rohstoffgewinnung oder als Recyclingverfahren kann die Hybridtechnologie auch zur Wasseraufbereitung, Erzeugung von grünem Wasserstoff, in der pharmazeutischen oder Lebensmittelindustrie Einsatz finden.

Die niederenergetische Elektronenstrahltechnologie (Ebeam) als multifunktionales Werkzeug ist explizit für Substitutionsprozesse geeignet. Beispielsweise bietet das Ebeam-Grafting (Pfropfung) die Chance, Materialien ohne zusätzliche chemische Vernetzungsmittel zu beschichten, um sie mit selektiven Oberflächenfunktionen auszustatten, so dass je nach Anforderungsprofil biozide, biokompatible oder Antifouling-Eigenschaften erzielt werden können.





# Entwicklung von lebenden Baumaterialien der Zukunft über Kohlendioxidaufnahme und Carbonatmineralisierung mittels phototropher Mikroorganismen

**Kontakt:** Dr. Ulla König | Tel. +49 351 2586-360 | [ulla.koenig@fep.fraunhofer.de](mailto:ulla.koenig@fep.fraunhofer.de)

Im SME-Projekt BioCarboBeton wurde mittels phototropher Mikroorganismen ein Verfahren zur biogenen Materialerzeugung durch Carbonatmineralisierung entwickelt, um ein neuartiges klimaneutrales Bau- und Konstruktionsmaterial herzustellen.

Beton ist aufgrund seiner vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der wohl meistgenutzte Baustoff unserer Zeit. Mit der globalen Bevölkerungsentwicklung, der Urbanisierung und des zunehmenden Infrastrukturaufbaus wird auch die globale Nachfrage nach der Hauptkomponente von Beton, dem Zement, bis 2050 um schätzungsweise 12–23 % steigen. Die Zementherstellung trägt dabei allein in Deutschland zu einer jährlichen Kohlenstoffdioxidemission von mehr als 20 Millionen Tonnen bei. Mit den Bestrebungen der Bundesregierung bis 2045 eine vollständige Klimaneutralität zu erreichen, steht die Zementindustrie damit vor einer enormen Herausforderung. Klimaneutralität in diesem Bereich kann nur durch alternative Herangehensweisen wie beispielsweise der Einsatz nachwachsender Rohstoffe oder das Recycling von Zement erreicht werden.

Einen weiteren Lösungsansatz strebt das Fraunhofer-interne SME-Projekt BioCarboBeton durch die Entwicklung und spezifische Formgebung von Living Building Materials – „Lebende Baumaterialien“ (LBM) gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS an. Im Fokus der Projektarbeit im Bereich Medizinische und Biotechnologische Applikationen des Fraunhofer FEP steht die biogene Materialentwicklung von sekundärem Kalk (Biomineralisierung) einschließlich komplementärer analytischer Prozessüberwachung und mikrobiologischer Bewertung sowie die Optimierung und Skalierbarkeit des Biomineralisierungsprozesses, um großtechnische Einsatzmöglichkeiten adressieren zu können.

Mit der Herstellung eines lebenden Baumaterials soll eine gezielte Aufnahme von atmosphärischem, oder aber auch industriellem Kohlenstoffdioxid mit anschließender Umwandlung in Calciumcarbonat als sekundärer Kalk erreicht werden.



*Modulares Kultivierungssystem für phototrophe Mikroorganismen zur Erzeugung von sekundärem Kalk*

Dieser Vorgang der Carbonatmineralisierung wird dabei durch phototrophe Mikroorganismen (Cyanobakterien) induziert, die eingebettet in einer speziellen (Bio)Polymer-Kompositmatrix mit mineralischen Zuschlagstoffen zu der Entstehung eines mechanisch stabilen und zukunftsweisenden Baumaterials beitragen. Es basiert im Gegensatz zu herkömmlichen Materialien auf einem klimaneutralen Herstellungsprozess, ist recycelbar und kann unter Verwendung von Abfallstoffen aus anderen Industriebereichen die Umweltbelastung zusätzlich reduzieren. Über die Etablierung eines neuen Kultivierungssystems und spezifische Regulierung einzelner mikrobieller Wachstumsparameter konnte bereits eine Steigerung der Biomasseproduktivität und der Fähigkeit zu Biomineralisierung erreicht werden.

*Gefördert im Rahmen der Internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft.*

*Förderkennzeichen: SME 840 131.*



# Mikrodisplays und Sensorik

Das Geschäftsfeld „Mikrodisplays & Sensorik (MS)“ bietet seinen Kunden F&E auf den Gebieten von Bauelemente-Entwurfs- und Fertigungs-Technologien basierend auf organischen und anorganischen Halbleitern, z. B., organische Leuchtdioden (OLED), Photodetektoren, anorganische  $\mu$ LED, die mit Silizium-CMOS- und MEMS-Untergründen integriert werden. Dabei fokussieren wir auf CMOS-IC-Design (Backplane), Backplane-Fertigung bei kommerziellen Silicon Foundries sowie Definition und Herstellung der Frontplane (z. B. Emitter-, Absorber) und bieten Prototypen und Pilot-Fertigung an. Die aktuell wichtigste Technologie ist OLED-on-Silicon, welche die Basis für OLED-„Mikrodisplays“ bildet. Für „Sensorik“-Anwendungen wird diese u. a. mit zusätzlichen sensorischen Komponenten ergänzt (z. B. material- und ionen-selektive Farbstoffe), um daraus z. B. pH-, Sauerstoff- oder Kohlendioxid-Konzentrationen in Gasen oder Flüssigkeiten bestimmen zu können.

Die Kenntnis der System-Integration (z. B. Datenbrille) sowie Applikationen (z. B. Motorradhelm head-up-display) ist von Bedeutung zur Entwicklung innovativer Eigenschaften (z. B. Helligkeit, Farbraum, Lebensdauer, Auflösung, Schaltgeschwindigkeiten, spektrale Empfindlichkeit). Dieses Verständnis bildet die Grundlage der Kooperation mit Anwendern, Systemintegratoren und Zulieferern.



# Stromsparende OLED-Mikrodisplays zum Körpertemperatur-Screening per Wärmebild

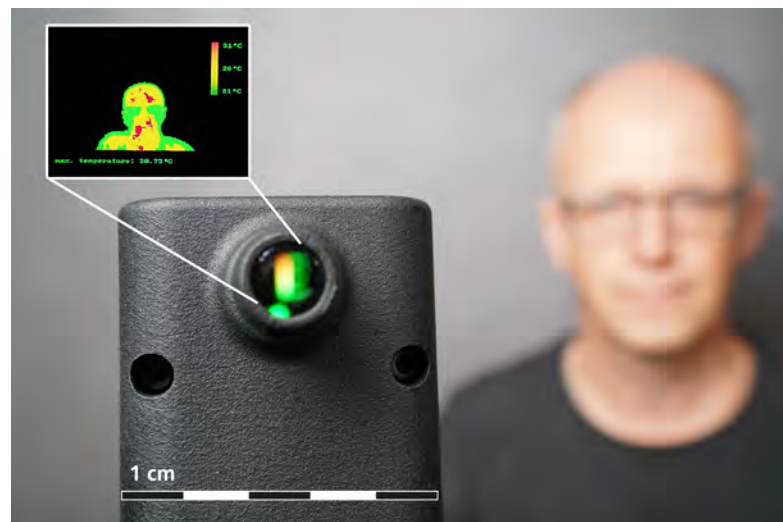
**Kontakt:** Dr. Uwe Vogel | Tel. +49 351 8823-282 | uwe.vogel@fep.fraunhofer.de

Das Fraunhofer FEP hat im EU-geförderten Projekt INNO4COV-19 den Prototypen eines handlichen Thermokamera-Systems mit integrierten, stromsparenden OLED-Mikrodisplays zur frühzeitigen und kontaktlosen Erkennung von Personen mit erhöhter Körpertemperatur entwickelt.

Wärmebildkameras liefern wichtige Hinweise auf Temperaturunterschiede in der Umgebung. Je nach Anwendungsbereich können sie beispielsweise aus der Entfernung die Körpertemperatur von Patienten und Besuchern in Krankenhäusern sichtbar machen oder Probleme bei der Dämmung von Häusern aufzeigen. Ein schnelles und akkurates Temperaturscreening z. B. von erhöhten Körpertemperaturen kann einen wichtigen Beitrag zur Eindämmung von Epidemien oder Pandemien leisten und das Ausbreitungsgeschehen von Infektionen frühzeitig verhindern. Bereits jetzt ist der Einsatz von Wärmebildkameras zur Erkennung von Verdachtsfällen eine etablierte Methode im öffentlichen Raum, in Krankenhäusern oder Bahnhöfen.

Das Projekt INNO4COV-19 startete im Höhepunkt der Corona-Pandemie Ende 2020 und zielte auf die effiziente und rasche Kommerzialisierung neuer Produkte zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie sowie zur Bekämpfung zukünftiger Pandemien. Neben Elektronenstrahltechnologien für die Sterilisation von Textilmaterialien auf großen Flächen entwickelte das Fraunhofer FEP in diesem Projekt ein handliches System zur kontinuierlichen Überwachung der Körpertemperatur zur frühestmöglichen Erkennung von infizierten Personen mittels OLED-Mikrodisplay-Technologie.

Dabei entstand ein portables Gerät mit integrierter Wärmebildkamera. Basis des Systems ist ein winziges OLED-Mikrodisplay, das aufgrund seiner intelligenten Backplane-Architektur extrem stromsparend arbeitet und zur Visualisierung der Daten dient. Wir haben das Display mit einem Infrarotbildsensor kombiniert und damit eine Wärmebildkamera realisiert, die sowohl die Körpertemperatur misst als auch das Ergebnis direkt über eine augennahe Visualisierung anzeigt.



*Portables System zur Darstellung von Wärmebildern über stromsparende OLED-Mikrodisplays*

Das System konvertiert die 2D-Informationen der ungekühlten Thermokamera in ein Farbbild, welches auf dem ultra-low-power Mikrodisplay in einer Auflösung von 320 × 240 Pixel, auf einer Displaydiagonale von 0,19 Zoll ausgegeben wird. Über einen Taster kann der angezeigte Temperaturbereich im Einhandbetrieb eingestellt werden. Die Kernkomponenten des Systems können problemlos in leichte, intelligente Brillen, Kopfbedeckungen, Kappen, persönliche Gesichtsschutzschilde oder Schutzausrüstung eingebettet werden. Anwendungen in der Katastrophenhilfe, der Brandbekämpfung oder auch bei der Fehlersuche in Industrieanlagen profitieren hierbei von den stromsparenden Displays und damit langer Akkulaufzeit.



*Gefördert durch das EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation »Horizont 2020«.  
Förderkennzeichen: 101016203*

# Präzisionsbeschichtung

Präzision bei der Oberflächenfunktionalisierung ist essentiell für eine große Bandbreite an Anwendungen. Gefragt ist hier u. a. eine sehr gute Homogenität der Schichtdicke (kleiner  $\pm 0,5\%$ ) über ausgedehnte Substrate und die präzise Einstellung von mechanischen, optischen, elektronischen und anderen Schichteigenschaften. Kernkompetenzen liegen hierbei im Bereich der adaptierten Magnetron-Sputter-Quellen, adaptierter Anlagenkonzepte, des Prozessverständnisses für Wafer- und Glasbeschichtung, dynamischer Blenden, energieeffizienter Blitzlampentemperung sowie neuartiger Prozesstechnologien für ultra-dünnes Glas. Diese Kompetenzen ermöglichen Entwicklungen vom »Machbarkeitsnachweis« über Prototypen bis hin zum »Skalierbarkeitsnachweis«.

Anwendungsbeispiele hierfür sind:

- großflächige optische Schichtsysteme, auch lateral bzw. vertikal gradiert
- adaptierte transparente, leitfähige Kontaktschichten einschließlich in-line Blitzlampentemperung
- Piezo- und ferroelektrische Schichten für Mikrosysteme, Hochfrequenzfilter, Ultraschallmikroskopie, nichtflüchtige Speicher sowie Mikroenergiegewinnung
- $\text{TiO}_2$ -Schichten mit photokatalytischen, antimikrobiellen und superhydrophilen Eigenschaften
- epitaktische AlN- und GaN-Schichten für Anwendungen in Leistungs- und HF-Elektronik sowie LED



# Energieeffizientes In-Line Blitzlampen-Tempeln von angepassten Schichtsystemen im Vakuum

**Kontakt:** Dr. Jörg Neidhardt | Tel. +49 351 2586-280 | joerg.neidhardt@fep.fraunhofer.de

In-vacuo Blitzlampen-Tempeln (Flash lamp annealing, FLA) wurde erfolgreich in eine vertikale In-line-Beschichtungsanlage integriert und im Rahmen des öffentlich geförderten Technologieprojekts INNOFLASH im Industriemaßstab von 1200 x 600 mm<sup>2</sup> demonstriert.

In dem vom Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr geförderten Projekt INNOFLASH wurde die Technologie des Blitzlampentempeln aufskaliert, um ein energieeffizientes Verfahren zum effektiven Kurzzeittempeln von großflächigen Substraten mit Xenon-Blitzlampen bereitzustellen. Damit werden Oberflächen und Schichten schnell und mit geringer Eindringtiefe erhitzt, ohne das gesamte Substrat thermisch zu belasten. Dies wurde einerseits durch Blitzlampen von 750 mm realisiert, die die gesamte Substratbreite überspannen, und andererseits durch die Bereitstellung ausreichender Energiedichten z. B. für die Nachkristallisation von ITO-Dünnschichten bei nachgewiesenen industriell relevanten Lebensdauern der Lampen.

Der Schlüssel hierzu ist die Entwicklung eines innovativen Stromversorgungskonzepts zusammen mit unserem Projektpartner Rovak GmbH, das folgende Parameter gewährleistet:

- Hohe Energiedichte > 25 J/cm<sup>2</sup>
- Einstellbare Pulsdauer (zwischen 1 ms und 10 ms)
- Hohe Wiederholungs-(Blitz-) Frequenz (bis 2 Hz)
- Langfristig stabiler und reproduzierbarer FLA-Prozess (1 Million Blitze).

Dieses neue Stromversorgungskonzept bewältigt zuverlässig die hohen Ströme und Spannungen, die im Millisekunden-Bereich im FLA-Prozess auftreten, und ermöglicht eine präzise und effektive Prozesssteuerung, wie sie für den Einsatz von FLA in industriellen großflächigen In-line-Anwendungen erforderlich ist, z. B.

- Zur Aktivierung von Dotierstoffen für transparente leitfähige Oxide wie ITO: Der Schichtwiderstand von ungeheizt gesputterten ITO-Schichten einer Dicke von 150 nm auf



Blitzlampen-Modul an der vertikalen In-line-Vakuum-Beschichtungsanlage ILA 900

Floatglas wurde durch FLA reduziert von 600  $\mu\Omega\text{cm}$  auf 215  $\mu\Omega\text{cm}$  bei gleichzeitiger Erhöhung der Transmission um 10 % auf 87 % (TVIS nach DIN EN410).

- Zur Kristallisation von dünnen Schichten, z. B. für Thermochromie (Vanadiumoxid) oder kristalline optische oder photokatalytische Schichten (TiO<sub>2</sub>).
- Zur kontrollierten in-vacuo Entnetzung von dünnen Metallinselschichten (z. B. Cu und Ag), für Biozidanwendungen.

Im Vergleich zum konventionellen Tempeln weist FLA eine höhere Energie- und Prozesseffizienz auf, was zu einer Senkung sowohl der Investitions- als auch Betriebskosten der Oberflächentechnologien führt.

FLA empfiehlt sich auch für die Behandlung empfindlicher oder innovativer Substratmaterialien, wie z. B. temperaturempfindlicher Polymere oder ultradünner flexibler Gläser mit deren speziellen Wärmeleiteigenschaften und bietet damit ein hohes Zukunftspotential für viele Anwendungen.



Gefördert durch das Sächsische Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr.  
Förderkennzeichen: 100349243/3698

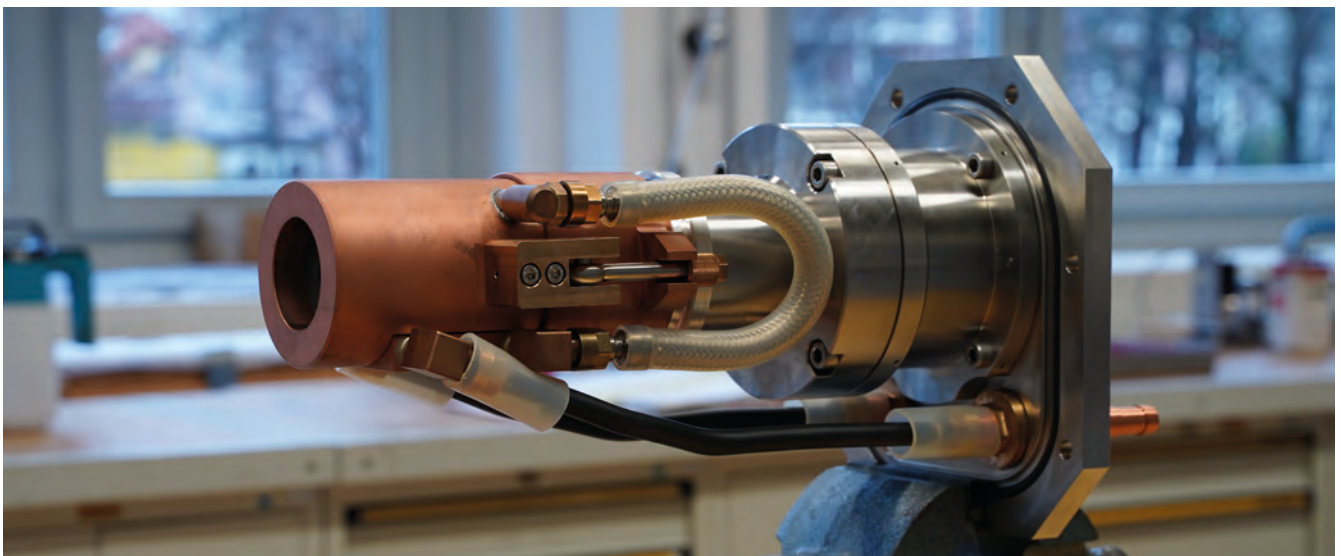


# Systeme

Technologie- und Hardwareentwicklung gehen am Fraunhofer FEP Hand in Hand. Die innerhalb des Instituts benötigten Elektronenstrahl- und Plasmakomponenten sind oft am Markt nicht verfügbar und werden speziell gemäß den Anforderungen der Anwendung modifiziert und weiterentwickelt. Die Entwicklung und Realisierung dieser Hardware findet innerhalb des Bereiches »Systeme« statt. Ausgestattet mit einer Mechanik- und Elektronikentwicklung sowie der dazugehörigen Musterfertigung sind wir in der Lage, eine Idee von der Konzeption über die Entwicklung bis zur Realisierung abzubilden.

Die interne Entwicklung unserer Hardware ermöglicht eine enge Abstimmung mit den Prozessingenieuren während des gesamten Entwicklungsprozesses. Dadurch sind iterative Prozesse möglich und wir können schnell unser Ziel erreichen: eine Überführung in die Industrie. Unterstützende Tätigkeiten bei der Prozessentwicklung ermöglichen eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Schlüsselkomponenten des Fraunhofer FEP.

Zum Entwicklungsportfolio unserer technologischen Schlüsselkomponenten gehören Plasma- und Elektronenstrahlquellen für ein breites Anwendungsspektrum. Unsere Schlüsselkomponenten werden gemeinsam mit den am Fraunhofer FEP entwickelten Technologien bereits vielfältig in der Industrie eingesetzt.



# Beschichtungswerkzeuge direkt aus dem 3D-Drucker

**Kontakt:** Dr. Michiel Top | Tel. +49 351 2586-355 | michiel.top@fep.fraunhofer.de

Im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes konnten wir mittels additiver Fertigung ein funktionsfähiges Sputtermagnetron entwickeln, herstellen und erfolgreich an einer unserer Beschichtungsanlagen erproben.

Es gibt viele Anforderungen an die Materialien für ein Magnetron. So müssen die Materialien die am Target entstehende Wärme aushalten und abführen, die Druckgradienten innerhalb der Anlage aushalten und sie müssen für die hohen Spannungen geeignet sein. Bei klassischen Halbzeugen sind diese Anforderungen bereits gut erforscht aber insbesondere bei der additiven Fertigung sind sie stark vom Druckverfahren sowie von den Eigenschaften abhängig. Im Rahmen des Projekts sind verschiedene Verfahren (wie z. B. Stereolithographie, selektives Lasersintern sowie Laser- und Elektronenstrahlbasiertes Pulverbettverfahren) verglichen und bewertet worden.

Nach dem Vergleich der einzelnen Verfahren sowie nach Bewertung verschiedener Testkörper wurde ein kleines Magnetron konstruiert und mittels additiver Fertigung produziert. Die Fertigung fand in Zusammenarbeit mit lokalen Unternehmen sowie anderen Fraunhofer-Instituten statt. In dem finalen Demonstrator wurden nicht nur die metallischen Teile gedruckt, sondern auch die Isolatoren und ein Großteil der Magneten. Wir waren nicht nur in der Lage, das Magnetron noch kompakter zu gestalten, sondern konnten die Anzahl der Teile auch reduzieren, weil wir z. B. die Kühlkanäle direkt in den Hauptkörper integriert haben. Der Einsatz von additiver Fertigung hat dabei auch zu einer Verkürzung der Produktionszeit geführt. Die Nachbearbeitung der einzelnen Teile fand bei uns im Haus statt.

Das Projekt wurde mit einem Praxistest beendet, bei dem wir in der Lage waren, erfolgreich Kupfer abzuscheiden. Wir wollen die neuen Möglichkeiten der additiven Fertigung auch in Zukunft nutzen, um weitere Funktionalitäten wie z. B. hocheffiziente Kühlstrukturen, komplexe



*Mit additiven Fertigungsverfahren hergestellte Magnetron-Sputterquelle*

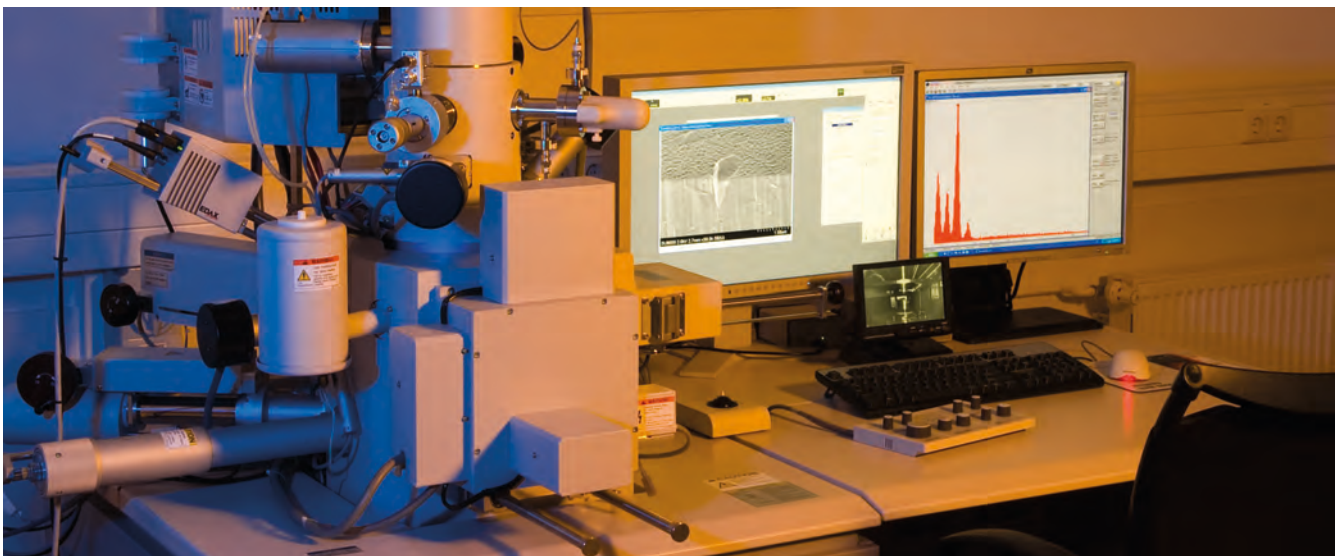
magnetische Geometrien und vieles mehr in unseren Schlüsselkomponenten einzusetzen.

# Werkstoffkunde / Analytik

Die Abteilung Werkstoffkunde / Analytik verfügt über vielfältige Methoden zur Charakterisierung von Struktur und Eigenschaften dünner Schichten. Die analytischen Methoden und die vorhandenen umfangreichen Erfahrungen unserer Mitarbeiter werden im Rahmen von Forschungsprojekten genutzt und als Dienstleistung für unsere Kunden angeboten.

Für die Charakterisierung von Struktur und Gefüge dünner Schichten steht ein hochauflösendes Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (FE-REM) und ein Röntgendiffraktometer (XRD) zur Verfügung. Durch eine Ionenpräparation können polierte Querschnitte von Schichtsystemen präpariert werden, welche eine hochauflösende FE-REM Untersuchung im Material- und Kristallorientierungs-kontrast ermöglichen. Die chemische Zusammensetzung wird durch energiedispersive Spektrometrie von Röntgenstrahlung (EDS) und durch optische Glimmladungsspektrometrie (GD-OES) analysiert.

Für die Bestimmung von optischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften dünner Schichten sind am FEP viele Messmethoden vorhanden. Unter anderen werden UV-VIS-NIR Spektrometrie, spektroskopische Ellipsometrie und Nanoindentation eingesetzt. Sehr umfangreiche Erfahrungen bestehen auf dem Gebiet der Permeationsbarrieremessungen beschichteter Polymerfolien gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff.



# Ionenpräparation von Querschnitten für hochauflösende FE-REM Untersuchungen an Dünnschichtsolarzellen

**Kontakt:** Dr. Olaf Zywitzki | Tel. +49 351 2586-180 | olaf.zywitzki@fep.fraunhofer.de

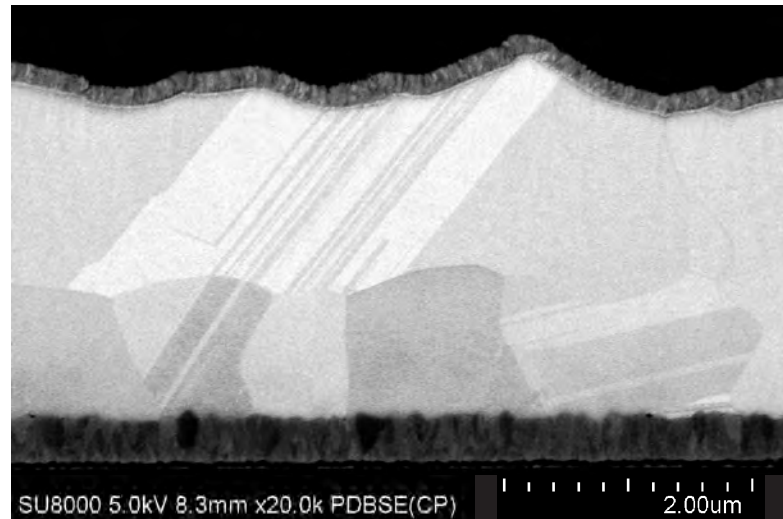
Der Wirkungsgrad von Dünnschichtsolarzellen wird wesentlich durch die Struktur und die Grenzflächen zwischen Absorberschicht, Front- und Rückkontakt bestimmt. Hochauflösende FE-REM Abbildungen können einen wichtigen Beitrag zur weiteren Optimierung leisten.

Ionenpolierte Querschnitte durch den kompletten Schichtaufbau von Dünnschichtsolarzellen können mit Hilfe der am Fraunhofer FEP verfügbaren Broad Ion Beam Technik (BIB) präpariert werden. Dadurch ist es möglich, die Struktur und die Grenzflächen zwischen Absorberschicht und den verschiedenen Schichten von Front- und Rückkontakt mit hochauflösender Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie (FE-REM) zu untersuchen. Die Abbildung der ionenpolierten Querschnitte der Solarzellen erfolgt dazu im Material- und im Kristallorientierungskontrast mit rückgestreuten Elektronen.

Im Kristallorientierungskontrast kann das Gefüge der polykristallinen Absorberschichten bezüglich der Kristallitgrößen und der vorhandenen Gitterdefekten wie Korngrenzen, Versetzungen und Zwillinge charakterisiert werden. Gleichzeitig können die Grenzflächen zwischen Absorberschicht, Front- und Rückkontaktschichten hochauflösend untersucht werden. Diese Grenzflächen stellen potentielle Rekombinationszentren für Ladungsträger dar und müssen deshalb hinsichtlich Struktur und Dotierung möglichst optimal angepasst werden.

Eine Erhöhung der Absorption der Sonnenstrahlung im kurz- und langwelligen Bereich wird durch chemische Gradienten innerhalb der Absorberschicht erreicht, welche durch energiedispersive Spektrometrie von Röntgenstrahlung (EDS) analysiert werden können. Durch die Optimierung dieser chemischen Gradienten wird die Bandlücke des Absorbermaterials so angepasst, dass für einen breiten Spektralbereich eine hohe Quanteneffizienz der Solarzelle erreicht werden kann.

Der Einfluss des Gefüges der polykristallinen Dünnschichtsolarzellen auf die Trennung und Diffusion der photogenerierten Ladungsträger kann durch



*FE-REM Abbildung eines ionenpolierten Querschnittes einer Dünnschichtsolarzelle im Kristallorientierungskontrast*

FE-SEM Abbildungen im Kristallorientierungskontrast und gleichzeitige Registrierung der Signalverteilung des elektronenstrahlinduzierten Stromes (EBIC) untersucht werden. Dies ermöglicht eine direkte Untersuchung des Einflusses der Korngrenzen innerhalb der Absorberschicht auf die EBIC Signalverteilung. Außerdem kann durch die Auswertung der EBIC-Signalverteilung die Position des pn-Überganges und die mittlere Diffusionslänge der Ladungsträger bestimmt werden.

Diese umfangreichen analytischen Möglichkeiten leisten einen wichtigen Beitrag zur weiteren Erhöhung der Effizienz von Dünnschichtsolarzellen.



# Anhang

---

Die Fraunhofer-Gesellschaft .....	34
Fraunhofer Verbund Light & Surfaces .....	35
Mitgliedschaften .....	36
Abschlussarbeiten .....	37
Veröffentlichungen .....	38
Schutzrechte .....	41



# Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeitende auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und



persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern 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.

## Unsere Vertragspartner und Auftraggeber sind:

- Industrieunternehmen
- Dienstleistungsunternehmen
- Öffentliche Hand

## Die wichtigsten Kennzahlen auf einen Blick

- 76 Institute und Forschungseinrichtungen
- Rund 30 000 Mitarbeitende
- 2,9 Milliarden Euro Forschungsvolumen jährlich
- Rund zwei Drittel werden mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten erwirtschaftet
- Internationale Zusammenarbeit durch weltweite Niederlassungen

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

# Fraunhofer Verbund Light & Surfaces

Der Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces bündelt die wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen der Fraunhofer-Gesellschaft in den Themenfeldern Optik, Photonik, Laser- und Oberflächentechnik.

Mitglieder sind die Fraunhofer-Institute für

- Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP  
[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)
- Lasertechnik ILT  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)
- Angewandte Optik und Feinmechanik IOF  
[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)
- Physikalische Messtechnik IPM  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)
- Werkstoff- und Strahltechnik IWS  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)
- Schicht- und Oberflächentechnik IST  
[www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de) (Gast-Institut)
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI  
[www.hhi.fraunhofer.de](http://www.hhi.fraunhofer.de) (Gast-Institut)
- Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
[www.iosb.fraunhofer.de](http://www.iosb.fraunhofer.de) (Gast-Institut)

In den Instituten des Verbunds forschen über 1900 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf exzellentem wissenschaftlichen Niveau, um komplexe technologische Fragen aus Industrie und Wirtschaft mit Blick auf die konkrete Anwendung zu lösen.

Für die Industrie sind die Institute nicht nur Innovationspartner, sondern in Kooperation mit Universitäten auch eine Quelle für den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs und damit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

Vorsitzender des Verbunds ist Prof. Karsten Buse (Fraunhofer IPM), die Geschäftsstelle leitet Dr. Heinrich Stülpnagel.



## Geschäftsstelle

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg

Telefon +49 761 8857-269

Fax +49 761 8857-224



[www.light-and-surfaces.fraunhofer.de](http://www.light-and-surfaces.fraunhofer.de)



# Mitgliedschaften

- AK Glasig-kristalline Multifunktionswerkstoffe  
[www.ak-gkm.bam.de](http://www.ak-gkm.bam.de)
- AMA Fachverband für Sensorik e. V.  
[www.ama-sensorik.de](http://www.ama-sensorik.de)
- biosaxony e. V.  
[www.biosaxony.com](http://www.biosaxony.com)
- Bundesverband mittelständische Wirtschaft  
Unternehmerverband Deutschland e.V.  
[www.bvmw.de](http://www.bvmw.de)
- Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik  
[www.dgao.de](http://www.dgao.de)
- Deutsche Glastechnische Gesellschaft  
[www.hvg-dgg.de/home/dgg.html](http://www.hvg-dgg.de/home/dgg.html)
- Deutscher Industrie-Reinigungs-Verband  
[www.dirv.org](http://www.dirv.org)
- Deutsches Flachdisplay Forum e. V.  
[www.displayforum.de](http://www.displayforum.de)
- Dresden-concept e. V.  
[www.dresden-concept.de](http://www.dresden-concept.de)
- Energy Saxony e. V.  
[www.energy-saxony.net](http://www.energy-saxony.net)
- EPIC European Photonics Industry Consortium  
[www.epic-assoc.com](http://www.epic-assoc.com)
- Europäische Forschungsgesellschaft  
Dünne Schichten e. V. (EFDS)  
[www.efds.org](http://www.efds.org)
- Fachverband für Mikrotechnik IVAM  
[www.ivam.de](http://www.ivam.de)
- Forschungsallianz Kulturerbe  
[www.forschungsallianz-kulturerbe.de](http://www.forschungsallianz-kulturerbe.de)
- Forum MedTech Pharma  
[www.medtech-pharma.de](http://www.medtech-pharma.de)
- Fraunhofer Leitmarktorientierte Allianz  
für Maschinen- und Anlagenbau  
[www.automobil.fraunhofer.de](http://www.automobil.fraunhofer.de)
- Fraunhofer Geschäftsbereich Reinigung  
[www.reinigung.fraunhofer.de](http://www.reinigung.fraunhofer.de)
- Fraunhofer-Allianz Batterien  
[www.batterien.fraunhofer.de](http://www.batterien.fraunhofer.de)
- Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces  
[www.light-and-surfaces.fraunhofer.de](http://www.light-and-surfaces.fraunhofer.de)
- Fraunhofer-Wasserstoff-Netzwerk  
[www.wasserstoff.fraunhofer.de](http://www.wasserstoff.fraunhofer.de)
- FutureSax Sächsisches Transfernetzwerk  
[www.futuresax.de/transfer/saechsisches-transfernetzwerk](http://www.futuresax.de/transfer/saechsisches-transfernetzwerk)
- HZwo e. V.  
[www.hzwo.eu](http://www.hzwo.eu)
- Informationsdienst Wissenschaft  
[www.idw-online.de](http://www.idw-online.de)
- International Council for Coatings on Glass ICCG e. V.  
[www.iccg.eu](http://www.iccg.eu)
- International Electrotechnical Commission IEC,  
TC 110 Electronic Displays, WG 12  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- International Irradiation Association  
[www.iiaglobal.com](http://www.iiaglobal.com)
- International SOS GmbH  
[www.internationalsos.com](http://www.internationalsos.com)
- KIC CCI – ICE-Konsortium Innovation by Creative Economy
- Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik  
INPLAS e. V.  
[www.inplas.de](http://www.inplas.de)
- Kompetenznetz Plasma Germany  
[www.plasma-germany.org](http://www.plasma-germany.org)
- Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik  
Sachsen/Thüringen e. V. (LRT)  
[www.lrt-sachsen-thueringen.de](http://www.lrt-sachsen-thueringen.de)
- MicroLED Industry Association  
[www.microledassociation.com](http://www.microledassociation.com)
- Netzwerk »Dresden – Stadt der Wissenschaften«  
[www.dresden.de](http://www.dresden.de)
- R2RNet  
[www.r2r-net.eu](http://www.r2r-net.eu)
- SenSa Sensorik Sachsen  
[www.sensorik-sachsen.de](http://www.sensorik-sachsen.de)
- Silicon Saxony e. V.  
[www.silicon-saxony.de](http://www.silicon-saxony.de)
- Smart<sup>3</sup> materials – solutions – growth  
[www.smarthoch3.de](http://www.smarthoch3.de)
- SmartEES v.z.w.  
[www.smartees.tech](http://www.smartees.tech)
- Space2Health  
[www.space2health.eu](http://www.space2health.eu)
- VDE Verband der Elektrotechnik – Bezirksverein Dresden e. V.  
[www.vde-dresden.de](http://www.vde-dresden.de)
- VDE Verband der Elektrotechnik – DKE-Liste »Fachkreise«  
[www.vde.com](http://www.vde.com)
- VDMA Organic Electronics Association (OE-A)  
[www.oe-a.org](http://www.oe-a.org)
- Verband Deutsches Reisemanagement e. V. (VDR)  
[www.vdr-service.de/der-verband/der-vdr](http://www.vdr-service.de/der-verband/der-vdr)

# Abschlussarbeiten

## Diplomarbeiten

Autor/in	Titel	Hochschule
M. Hanke	Einführung eines Energiemanagements am Fraunhofer-IZD Dresden	TU Dresden
F. Schuster	Universelle Testplattform komplexer elektro-optischer SoCs am Beispiel eines OLED Mikrodisplays	TU Dresden
M. Ehrhardt	Optimierung von Zink-Zinn-Oxid Barrierschichten für organische Photovoltaikanlagen durch Variation des Beschichtungsprozesses	TU Dresden
M. Bredemeyer	Untersuchungen zur Eignung lichthärtender Polymere für die Stabilisierung fragiler historischer Papierobjekte	TU Dresden
M. Herold	Anwendung der additiven Fertigung zur Herstellung einer Magnetron-Sputterquelle	TU Dresden
V. Heiser	Herstellung von kristallinem Titandioxid im Rolle-zu-Rolle-Prozess auf Dünnstglas mittels Hochleistungsimpulsmagnetronspütern und unipolar gepulstem Magnetronspütern	TU Dresden

## Masterarbeiten

Autor/in	Titel	Hochschule
A. Fritscher	Implementierung einer digitalen Mikrodisplay Ansteuerung in einer 28 nm CMOS Technologie	TU Dresden
L. Kahounova	Etablierung einer matrixschonenden Trocknungsmethode für bovines Perikard, Teilschritt eines neuen Aufbereitungsverfahrens für biologische Herzklappenprothesen	Hochschule Zittau/Görlitz
S. Brönder	Bewertung der Resistenz von Rinderperikard gegenüber Kalzifizierung nach Aufbereitung durch das innovative modulare SULEEI-Verfahren	Universität Bayreuth
M. Rietscher	Effects of low Energy Electron Irradiation on in vitro Cell Cultures	Brandenburg University of Technology
T. Rüter	Konzeptualisierung kundenseitiger, sozialer Kosten als Preisbestandteil bei nachhaltigem Konsumverhalten aus der Perspektive einer jungen Zielgruppe	TU Dresden
R. R. Nayak	Optimization of piezoelectric energy harvester using multi-physics finite element modelling	Universität Duisburg Essen

# Veröffentlichungen

Autoren	Titel	Erscheinungsort
F.-H. Rögner, M. Pfeilschifter	Market and Trend Analysis in Industrial Parts Cleaning 2020	Fraunhofer FEP, ISBN: 978-3-00-069602-2, 2022
J. Fertey, B. Standfest, J. Beckmann, M. Thoma, T. Grunwald, S. Ulbert	Low-energy electron irradiation (LEEI) for the generation of inactivated bacterial vaccines	Bacterial Vaccines, Methods and Protocols, ISBN: 978-1-0716-1899-8, 2022, page 79 -113
F.-H. Rögner, G. Schottner, W. Grähler, F. Gruber, T. Fuchs, J. Hügler	Historical Paper Documents	Fraunhofer Technologies for Heritage Protection in Times of Climate Change and Digitization, ISBN: 978-3-7388-0787-5, Chapter 3, Abschnitt 2, S. 81 - 88
V. Franke, F. Gruber, O. Zywitzki, T. Fuchs	ENAMEL	Fraunhofer Technologies for Heritage Protection in Times of Climate Change and Digitization, ISBN: 978-3-7388-0787-5, S. 89 - 94
S. Neuhaus, H. Bartzsch, S. Cornelius, A. Hinz, S. Pinggen, P. Frach	Bipolar pulsed reactive magnetron sputtering of epitaxial AlN-films on Si(111) utilizing a technology suitable for 8" substrates	Surface and Coatings Technology, Vol. 429, 2022, Artikel 127884
T. Furukawa, J. Hauptmann, T. Nakagaki, R. Ikeuchi, M. Sagawa, D. Nagata, J. Nakatsuka	Roll-to-Roll Fabrication for OLED Lighting Using Ultra-Thin Glass Substrate and Encapsulating Stainless Steel Foil	Proceedings of the International Display Workshops, Volume 28, 2022, page 948 - 951
E. Metzner, C. Bäumer, C. Behrends, A. Dammene Debbih, D. Döhler, M.J. v. Goethem, E.R. v. der Graat, P. Kahle, A. Lühr, T. Teichmann, B. Timmermann, D. Weinberger, T. Werner, J. Wulff, T. Kormoll	Spectral fiber dosimetry with beryllium oxide for quality assurance in hadron radiation therapy	Journal of Instrumentation, Vol. 17, 2022, IOP Publishing, Artikel P02009
L. Steinhäuser, G. Gotzmann, F. Fietzke, J.-M. Albrecht, U. König	Oberflächenhygienisierung durch UV-aktivierbare Beschichtung	JOT-Journal, Vol. 62, 2022, S. 34 - 37
M. C. Nelson, L. Rothberg, M. Wiczorek	Low Onset Stimulated Emission in Electrically Pumped Organic Light Emitting Diodes	ACS Photonics, Vol. 9, Issue 2, 2022, p. 511 - 517
D. Chaykina, F. Nafezarefi, G. Colombi, S. Cornelius, L. J. Bannenberg, H. Schreuders, B. Dam	Influence of Crystal Structure, Encapsulation and Annealing on Photochromism in Nd Oxyhydride Thin Films	Journal of Physical Chemistry C, Vol. 126, Issue 4, 2022, p. 2276 - 2284
E. v. Hauff, D. Klotz	Impedance spectroscopy for perovskite solar cells: Characterisation, analysis and diagnosis	Journal of Materials Chemistry C, Vol. 10, Issue 2, 2022, p. 742 - 761
S. Walker, A. Jakob, C. Dittfeld, J. Schönfelder, U. König, S.-M. Tugtekin	Sterilization and Cross-Linking Combined with Ultraviolet Irradiation and Low-Energy Electron Irradiation Procedure: New Perspectives for Bovine Pericardial Implants in Cardiac Surgery	The Thoracic and Cardiovascular Surgeon, Vol. 70, Issue 1, 2022, p. 33 - 42
S. Maity, C. Ramanan, F. Ariese, R. C. I. MacKenzie, E. v. Hauff	In Situ Visualization and Quantification of Electrical Self-Heating in Conjugated Polymer Diodes Using Raman Spectroscopy	Advanced Electronic Materials, Vol. 8, Nr. 7, 2022, Artikel 2101208
J. Rezek, J. Szelwicka, J. Vlček, R. Čerstvý, J. Houška, M. Fahland, J. Fahlteich	Transfer of the sputter technique for deposition of strongly thermochromic VO <sub>2</sub> -based coatings on ultrathin flexible glass to large-scale roll-to-roll device	Surface and Coating Technology, Vol. 442, 2022, Artikel 128273
P. Wartenberg, S. Brenner, M. Thomschke, G. Bunk, A. Fritscher, B. Richter, S. Lenk, U. Vogel	New ultra-low power OLED microdisplays for slim near-to-eye visualization	SPIE Proceedings, Vol. 12024, 2022, Advances in Display Technologies XII, SPIE OPTO, San Francisco, USA

Autoren	Titel	Erscheinungsort
J. Finkensieper, L. Issmail, J. Fertey, A. Rockstroh, S. Schopf, B. Standfest, M. Thoma, T. Grunwald, S. Ulbert	Low-Energy Electron Irradiation of Tick-Borne Encephalitis Virus Provides a Protective Inactivated Vaccine	Frontiers in Immunology, Vol. 13, 2022, Artikel 825702
C. Stoeckel, K. Meinel, M. Melzer, A. Zukauskaitė, S. Zimmermann, R. Forke, K. Hiller, H. Kuhn	Static High Voltage Actuation of Piezoelectric AlN and AlScN Based Scanning Micromirrors	micromachines, Vol. 13, Nr. 625, 2022, Artikel 13040625
S. Hamid, D. Heberling, M. Junghähnel, T. Preußner, P. Gretzki, L. Pongratz, C. Hordemann, A. Gillner	Development of a millimeter-wave transparent antenna inside a headlamp for automotive radar application	Microwave and Wireless Technologies, Vol. 14, Nr. 6, 2022, p. 677 - 688
S. Schopf, G. Gotzmann, M. Dietze, S. Gerschke, L. Kenner, U. König	Investigations Into the Suitability of Bacterial Suspension as Biological Indicators for Low-Energy Irradiation	Frontiers in Immunology, Vol. 13, 2022, Artikel 814767
L. Steinhäuber, U. König, T. Mally, T. Westerhoff	Simulation based design of an UVC-LED emitter for disinfection of high-touch environmental surfaces	IEEE Proceedings of 17 <sup>th</sup> International Symposium on the Science and Technology of Lighting, Toulouse, Frankreich, 01. - 03. Juni 2022
R. Wang, S. Hasanefendic, E. v. Hauff, B. Bossink	The cost of photovoltaics: Re-evaluating grid parity for PV systems in China	Renewable Energy, Vol. 194, 2022, p. 469 - 481
D. Glöß, U. Hartung, A. Drescher, J. Neidhardt, P. Frach, H. Bartzsch, H. Sahn, P. Büttner	Inline Magnetron Sputtering for Optical Filters on Flat and Curved Glass Substrates	Proceedings of Optical Interference Coatings OIC, Whistler, Canada, 19. - 24. Juni 2022
P. Wartenberg, A. Fritscher, S. Brenner, B. Richter, S. Lenk, M. Rolle, J. Baumgarten, K. Fehse, C. Schmidt, U. Vogel	New Ultra Low-Power High Brightness Microdisplays Enabling Broad Application	SID Diggest of Techn. Papers, Vol. 53, Issue 1, 2022, p. 740 - 743
F.-H. Rögner	Berufsausbildung für die industrielle Teilereinigung	Journal für Oberflächentechnik, JOT, Vol. 62, Issue 3, 2022, S. 15 - 17
N. Stöckl, E. Bittrich, M. Top	Effect of deposition temperature on the residual stress of sputtered Zinc-Tin-Oxide coatings deposited on polyethylene terephthalate (PET) substrates	Surface & Coatings Technology, Vol. 445, 2022, Artikel 128723
D. Döhler, L. Alshut, L. König, T. Teichmann, T. Werner, T. Kormoll	Characterization of a Fiber Optic Radiation Sensor Prototype for Nuclear Dismantling	IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 69, Nr. 8, 2022, S. 1884 - 1892
N. Wolff, M. R. Islam, L. Kirste, S. Fichtner, F. Lofink, A. Žukauskaitė, L. Kienle	Al <sub>1-x</sub> Sc <sub>x</sub> N thin films at high temperatures: Sc-dependent instability and anomalous thermal expansion	micromachines, Vol. 13, Nr. 8, 2022, Artikel 1282
S. Günther, E. Kutschke, A. Bork	Polymeric substrate properties tailored by irradiation	Vakuum in Forschung und Praxis, Vol. 34, Issue 4, 2022, S. 26 - 30
S. Saager, L. Decker, T. Kopte, B. Scheffel	PVD of Metallic Lithium Layers and Lithiated Silicon Layers for High-Performance Anodes in Lithium Ion Batteries	Proceedings of 65 <sup>th</sup> Annual SVC TechCon, Long Beach, USA, 02. - 05. Mai 2022, p. 72 - 78
J. P. Heinß, L. Klose	High-rate Sputter Etching of Substrates using Hollow-Cathode Arc Discharge Sources	Proceedings of 65 <sup>th</sup> Annual SVC TechCon, Long Beach, USA, 02. - 05. Mai 2022, p. 205 - 210
M. Fahland, M. Top, T. Vogt	Time Series Analysis in Vacuum Roll to Roll Coating Technology	Proceedings of 65 <sup>th</sup> Annual SVC TechCon, Long Beach, USA, 02. - 05. Mai 2022, p. 246 - 249



Autoren	Titel	Erscheinungsort
A. Delan, M. Becker, M. Boer, K. Liefeth, M. Frant, J. Rost, U. Schirmer, C. Pietsch, D. Glöß, M. Günther, G. Gerlach	Impedimetrischer Inline-Biofilmsensor	Technisches Messen, Vol. 89, 2022, 12 Seiten
S. Buchwalder, A. Borzi, J. Diaz Leon, F. Bourgeois, C. Nicolier, S. Nicolay, A. Neels, O. Zywitzki, A. Hogg, J. Burger	Thermal Analysis of Parylene Thin Films for Barrier Layer Applications	polymers, Vol. 14, Nr. 17, 2022, Artikel 3677
S. Barth, T. Schreiber, S. Cornelius, O. Zywitzki, T. Modes, H. Bartzsch	High Rate Deposition of Piezoelectric AlScN Films by Reactive Magnetron Sputtering from AlSc Alloy Targets on Large Area	micromachines, Vol. 13, Nr. 10, 2022, Artikel 1561
A. Nair, M. Kessel, L. Kirste, N. M. Feil, M. Prescher, A. Žukauskaitė	Growth optimization of non-polar Al <sub>0.7</sub> Sc <sub>0.3</sub> N(1120)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1102) thin films using reactive magnetron sputter epitaxy	Physics Status Solidi Applications and Materials Science, Open Access, 2022
N. Tulus, L. A. Muscarella, Y. Galagan, S. C. Boehm, E. v. Hauff	Trap passivation and suppressed electrochemical dynamics in perovskite solar cells with C60 interlayers	Electrochimica Acta, Vol. 433, 2022, Artikel 141215
H. K. Bangolla, M. D. Siao, Y. H. Huang, R. S. Chen, A. Žukauskaitė, J. Pališaitis, P. Persson, L. Hultman, J. Birch, C. L. Hsiao	Composition-dependent Photoconductivities in Indium Aluminium Nitride Nanorods Grown by Magnetron Sputter Epitaxy	Nanoscale Advanced, Vol. 4, Nr. 22, 2022, p. 4886 - 4894
S. Moench, J. Meyer, A. Žukauskaitė, V. Lebedev, S. Fichtner, J. Su, F. Niekiet, T. Giese, L. Thormählen, E. Quandt, F. Lofink	AlScN-based SAW Magnetic Field Sensor for Isolated Closed-Loop Hysteretic Current Control of Switched-Mode Power Converters	IEEE Sensors Letters, Vol.6, Issue 10, 2022, Artikel 2500904
E. A. Mayer, O. Rogall, A. Ding, A. Nair, A. Žukauskaitė, P. D. Pupyrev, A. M. Lomonosov, A. P. Mayer	Laser ultrasound investigations of AlScN(0001) and AlScN(11-20) thin films prepared by magnetron sputter epitaxy on sapphire substrates	micromachines, Vol. 13, Nr. 10, 2022, Artikel 1698
F.-H. Rögner	Mikroproduktion – ohne anforderungsgerechte Reinigung nicht denkbar	Zeitschrift Mikroproduktion, Nr. 5, online, 2022, 5 S.
A. Graf, S. Barth, U. Vogel, M. Fahland, D. Solonenko, A. Zukauskaite, J. Pilz, M. Moridi, S. Risquez	Mit Präzision und dünnen Schichten zu tragbarer Elektronik	inno, Vol. 82, 2022, Seite 1 - 3
S. Barth, H. Nizard, J. Göller, P. Spieß, H. Bartzsch	Raman spectroscopy and spectral signatures of AlScN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	micromachines, Vol. 13, Nr. 11, 2022, Artikel 1961
S. Barth, H. Nizard, J. Göller, P. Spieß, H. Bartzsch	AlScN-Dünnschichten auf Metallsubstraten für Energy Harvesting Anwendungen	GMM-Fachbericht Nr. 102, 2022, Beiträge zur 11. GMM-Fachtagung EASS, Erfurt, Deutschland, 05./06. Juli 2022, ISSN: 1432:3419, S. 62 - 64
C. Welzel, U. König, A. Jannasch, K. Matschke, S.-M. Tugtekin, C. Dittfeld, G. Steiner	Infrared Spectroscopic Verification of a $\alpha$ -Helical Collagen Structure in Glutaraldehyde-Free Crosslinked Bovine Pericardium for Cardiac Implants	life, Vol. 12, 2022, Artikel 2035
N. Gürtler, U. König	Low-Energy Electron Beam for Antifouling Coatings	inno, Vol. 83, 2022, Seite 8
M. Günther, A. Delan, M. Becker, M. Boer, K. Liefeth, M. Frant, J. Rost, U. Schirmer, C. Pietsch, D. Glöß, G. Gerlach	Impedimetric Sensors for Monitoring Bacterial Contaminations in Water Pipes	IEEE Proceedings of International Workshop on Impedance Spectroscopy IWIS 2022, Chemnitz, Deutschland, 27. - 30. September 2022, p. 50 - 55

# Schutzrechte

Patentnummer	Titel	Erfinder / -in	Anmeldung	Erteilung
US 11,217,619 B2	Sensor Component and Method for Producing same	C. Kirchhof	02.12.2019	04.01.2022
US 11,224,669 B2	Inactivation of Pathogens in biological Media	M. Thoma, K. Fischer, J. Portillo	31.08.2017	18.01.2022
US 11,217,720 B2	Method for Depositing a CdTe Layer on a Substrate	H. Morgner, C. Metzner, D. Hirsch, O. Zywitzki, L. Decker, T. Werner, B. Siepchen, B. Späth, K. Verlappan, C. Kraft, C. Drost	13.07.2018	04.01.2022
EP 2 541 637 B1	Electroluminescent light Emission Device with an optical grid Structure and Method for Production of same	R. Pfeifer, K. Fehse, U. Vogel, K. Leo	30.06.2011	12.01.2022
JP 7026464 B2	Method for Depositing a Layer using a Magnetron Sputtering Device	P. Frach, H. Bartzsch, J. Hildisch	07.09.2017	17.02.2022
EP 3 645 285 B1	Multi-Layer Functional Film and Production Method thereof	J. Fahlteich, N. Prager, M. Fahland, O. Zywitzki, V. von Morgen, R. Eveson	21.01.2020	13.04.2022
JP 7038728 B2	Apparatus for Generating Accelerated Electrons	A. Weidauer, R. Blüthner, J. Kubusch, G. Mattausch, F.-H. Rögner, I. Vincente Gabas	02.09.2019	10.03.2022
US 11,362,164 B2	Method for the Production of a semi-transparent Display and a semi-transparent Display	B. Richter, P. Wartenberg, S. Brenner, V. Kirchhoff, U. Vogel	29.05.2020	14.06.2022
JP 7058291 B2	Sensor Component and Method for Producing same	C. Kirchhof	05.12.2019	13.04.2022
EP 3 791 006 B1	Apparatus for Coating a Strip-Shapes Substrate	M. Fahland, J. Fahlteich, N. Prager, U. Meyer, T. Vogt	08.05.2019	29.06.2022
CN 110621344 B	Method for Producing Cellular Therapeutics Irradiated by Electron Beam	S. Ulbert, J. Burkhardt, F.-H. Rögner, J. Schönfelder, J. Portillo	14.03.2018	09.08.2022
CN 110267689 B	Method for Preparing a Graft	C. Wetzel, J. Schönfelder, S. Walker, J. Kubusch	16.05.2019	01.10.2022
EP 3 849 805 B1	Method for Smoothing a Component Surface Region	B. Graffel, F. Winckler, S. Fritzsche, B. Kieback, B. Klöden, T. Weissgärber	13.09.2022	26.10.2022
US 11, 518, 157 B2	Multi-Layer Functional Film and Production Method thereof	J. Fahlteich, N. Prager, M. Fahland, O. Zywitzki, V. von Morgen, R. Eveson	19.12.2019	06.12.2022
TW 1785662 B	OLED Display with Protection Circuit	B. Richter, P. Wartenberg, U. Vogel, G. Bunk, J. Hanner, J. Spindler, M. Kondakova	30.06.2021	01.12.2022

## Unsere Standorte

---



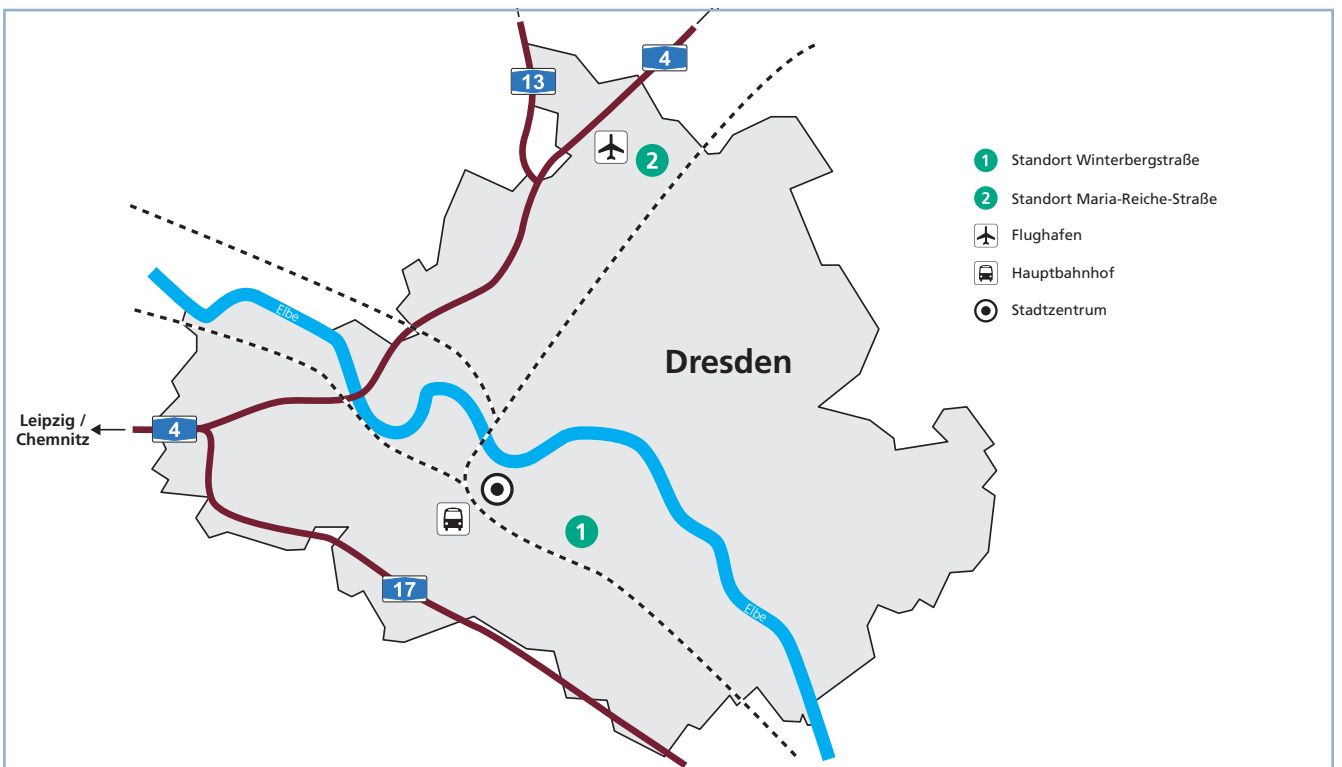
*Institutszentrum Dresden, Technikum Fraunhofer FEP, Winterbergstraße*



*Forschungszentrum „Ressourcenschonende Energietechnologien“ (RESET), Winterbergstraße*



Institutszentrum Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Straße





# Impressum

---

## Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

### Standort Winterbergstraße

Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

Telefon +49 351 2586-0

### Standort Maria-Reiche-Straße

Maria-Reiche-Straße 2  
01109 Dresden

Telefon +49 351 8823-4669

### Ansprechpartner

Annett Arnold, M.Sc.  
Unternehmenskommunikation  
Telefon +49 351 2586-452  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de

### Redaktion

Prof. Dr. Elizabeth von Hauff  
Annett Arnold, M.Sc.

### Layout/Satz

Finn Hoyer

### Druck

SAXOPRINT GmbH

### Bildnachweis

Anna Schroll (S. 26)  
Claudia Jacquemin (S. 24)  
Finn Hoyer (Titelbild, S. 6, 25, 28, 42, 43)  
Fraunhofer FEP (S. 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 27, 31)  
Fraunhofer-Gesellschaft (S. 34)  
Jan Hosan (S. 20)  
Janek Wiczorek (S. 16, 30)  
Jürgen Lösel (S. 4, 5, 13, 35, 42)  
Ronald Bonß (S. 2, 4, 5, 12, 13)  
Timotheus Liebau (S. 5, 12, 29)



Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer FEP | April 2023

# Highlights



Projekttreffen »Biosynth«



Besuch EU-Kommission



IAEA Technical Meeting  
»Advanced electron beams for industrial applications«



33. Kuratoriumssitzung des Fraunhofer FEP



Lange Nacht der Wissenschaften,  
Presserundgang mit Oberbürgermeister Dirk Hilbert



Zertifiziertes Energiemanagement am Fraunhofer FEP



Preisverleihung zum 1. Platz »Produkt des Jahres«  
in der Kategorie »Optoelektronik und Displays«



Teilnahme am 5 km Firmenlauf »REWE Team Challenge«



## Über Fraunhofer FEP

---

Das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP arbeitet an innovativen Lösungen auf den Arbeitsgebieten der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen in der Elektronenstrahltechnologie, Rolle-zu-Rolle-Technologie, der plasma-gestützten Großflächen- und Präzisionsbeschichtung sowie in Technologien für organische Elektronik und im IC-Design.

Das Fraunhofer FEP bietet damit ein breites Spektrum an Forschungs-, Entwicklungs- und Pilotfertigungsmöglichkeiten, insbesondere für die Behandlung, Sterilisation, Strukturierung und Veredelung von Oberflächen sowie für OLED-Mikrodisplays, organische und anorganische Sensoren sowie optische Filter.

Ziel ist, das Innovationspotenzial der Technologien für neuartige Produktionsprozesse und Bauelemente zu erschließen und es für unsere Kunden nutzbar zu machen.



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



[twitter.com/fraunhoferfep](https://twitter.com/fraunhoferfep)



[facebook.com/fraunhoferfep](https://facebook.com/fraunhoferfep)



[youtube.com/fraunhoferfep](https://youtube.com/fraunhoferfep)



[linkedin.com/company/fraunhofer-fep](https://linkedin.com/company/fraunhofer-fep)



[instagram.com/fraunhoferfep](https://instagram.com/fraunhoferfep)