

Jahresbericht 2024/25



Über Fraunhofer FEP

Das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP arbeitet an innovativen Lösungen für die Vakuumbeschichtung sowie die Behandlung von Oberflächen, Flüssigkeiten und Gasen.

Basierend auf unseren Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Magnetronspütern und plasmaunterstützte Oberflächenerfahren entwickelt das Fraunhofer FEP ressourcenschonende und effiziente Prozesstechnologien für die strategischen Felder Energie und Nachhaltigkeit, Life Science, Umwelttechnologien, Smart Building sowie Digitalisierung.

Das Fraunhofer FEP bietet ein breites Spektrum an Forschungs-, Entwicklungs- und Pilotfertigungsmöglichkeiten für die Entwicklung und Skalierung sowohl entsprechender Prozesse als auch angepasster Hardwaresysteme.

Gemeinsam mit unseren Partnern entwickeln wir maßgeschneiderte und industrietaugliche Lösungen und Verfahren für zukunftsweisende Beschichtungslösungen.

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

Jahresbericht 2024/25

Inhalt

| | |
|---------------------------------------------|----|
| Grußwort | 5 |
| Neuigkeiten aus dem Institut | 7 |
| Ansprechpartner/innen | 9 |
| Kuratorium | 11 |
| Organigramm | 12 |
| Das Institut in Zahlen | 13 |
| Industrielösungen | 17 |
| Bereich Elektronenstrahl | 25 |
| Bereich Plasma | 31 |
| Bereich Systeme | 35 |
| Werkstoffkunde/ Analytik | 37 |
| Biomedizinischer Laborkomplex | 39 |
| Die Fraunhofer-Gesellschaft | 43 |
| Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces | 44 |
| Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung | 45 |
| Mitgliedschaften | 46 |
| Lehrveranstaltungen | 47 |
| Abschlussarbeiten | 48 |
| Veröffentlichungen | 49 |
| Schutzrechte | 50 |



Grußwort



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

Das Jahr 2024 war für das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP ein Jahr des Wandels, der Innovation und der zukunftsgerichteten Entwicklungen. Die strategischen und organisatorischen Anpassungen, die das Jahr prägten, unterstreichen die Bereitschaft und Fähigkeit des Instituts und unserer Mitarbeitenden, sich dynamisch auf veränderte Anforderungen und Chancen auszurichten. Der Beginn des Jahres war geprägt durch eine weitreichende Neustrukturierung, bei der das Geschäftsfeld Mikrodisplays und Sensorik im Januar erfolgreich an das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS übergeben wurde. Diese Umstrukturierung ermöglicht eine fokussierte Weiterentwicklung und Stärkung des Portfolios beider Institute in ihren jeweiligen Spezialgebieten.

Das Fraunhofer FEP engagiert sich nicht nur für wissenschaftliche Spitzenforschung, sondern auch für die Förderung der nächsten Generation an Technikern und Wissenschaftlern. Besonders hervorzuheben ist das Engagement unserer Mitarbeiter im Rahmen des Wettbewerbs „Schüler experimentieren“ im März. Dabei beschäftigten sich drei Schüler mit der Beständigkeit von elektrochromen Beschichtungen auf Fenstern gegenüber Säuren und Basen. Hierzu flossen die Ergebnisse des Projektes Flex-G 4.0 mit ein, bei dem solche Folien als Nachrüstlösungen in Fenstern den Wärmeeintrag und Lichteinfall regulieren. Mithilfe der Begleitung unserer Wissenschaftler erzielten sie mit ihren Ergebnissen den 1. Platz in der Kategorie Chemie beim Regionalwettbewerb und traten ebenfalls zum Landeswettbewerb an.

Ein weiterer Meilenstein war die Einweihung des neuen RESET-Gebäudekomplexes im April, die in Anwesenheit

hochrangiger Gäste aus Politik, Wissenschaft und Industrie stattfand. Dieser moderne Gebäudekomplex stellt eine wichtige Erweiterung unserer Infrastruktur dar und bietet ideale Bedingungen, um neue Forschungsinitiativen in den Bereichen Elektronik und Oberflächentechnik voranzutreiben.

Mit dem Ziel, wissenschaftliche Erkenntnisse für ein breites Publikum zugänglich zu machen, öffnete das Fraunhofer FEP seine Türen zur Langen Nacht der Wissenschaften im Juni in Dresden. Tausende von Besuchern – von interessierten Laien bis zu Fachleuten – nutzten die Gelegenheit, sich in einer offenen und inspirierenden Atmosphäre über unsere innovativen Technologien zu informieren. Ebenfalls im Juni nahm das Fraunhofer FEP erstmals an der Messe „Manufacturing World“ in Tokio teil. Die Präsentation unserer Entwicklungen im Bereich Elektronenstrahltechnologie für Beschichtungen und Elektronenstrahlquellen stieß auf großes Interesse und führte zu wertvollen neuen Kooperationen und zur Stärkung unseres Netzwerks in Japan, das seit vielen Jahren besteht.

Im Verlauf des Sommers fanden weitere Projekttreffen, u. a. der Abschluss des EU-Projektes FlexFunction2Sustain statt, bei dem wir als Projektkoordinator agierten. Im Projekt wurden die Entwicklung nachhaltiger, skalierbarer Beschichtungstechnologien für flexible Elektronik und ressourcenschonende, recycelbare Technologien fokussiert. Daraus erwachsen erfolgreiche Use-Cases, die bis dato in die Produktion von Akteuren der Region transferiert werden.

Im August konnten wir drei neue Auszubildende begrüßen, die in den kommenden Jahren ihre Ausbildung als Mikrotechnologen und Mechatroniker bei uns absolvieren werden.



Die Förderung junger Talente ist uns ein wichtiges Anliegen, und unsere neuen Kollegen profitieren von einer praxisnahen Ausbildung in unseren modernen Laboren und Anlagen.

Ein besonderes Highlight war die Auszeichnung eines unserer ehemaligen Auszubildenden durch die IHK Dresden als bester Prüfungsabsolvent seines Jahrgangs. Wir freuen uns, dass er nach Abschluss seiner Ausbildung unser Team im Bereich Musterbau weiterhin unterstützt. Unser Dank gilt auch seinem Ausbilder, der sich mit großem Engagement für die Qualität der Ausbildung am Fraunhofer FEP einsetzt.

Unsere Bildungsinitiativen setzten sich im September mit der Photonica Summer School fort, die auch in diesem Jahr in Dresden Halt machte. Über zwanzig Studierende nutzten die Möglichkeit, unsere Labore zu besuchen und an Workshops und Experimenten zu Themen wie Optical Emission Control und Spektroskopie teilzunehmen.

Auf zahlreichen Konferenzen präsentierten unsere Forschenden die neuesten Ergebnisse ihrer Forschung. Darunter die effiziente Methode zur Beschichtung von Oberflächen mit Graphen unter Einsatz der Elektronenstrahltechnologie oder die Weiterentwicklung von Perowskit-Solarzellen und organischer Photovoltaik durch verbesserte Hochbarrierschichten. Ebenfalls wurden Meilensteine in der Entwicklung von Dünnschichten zur Verbesserung der Wärmeübertragung in elektrokatalytischen Wärmepumpen erzielt. Flankiert wurden diese Erfolge durch die Investition in neue Ausstattung wie z. B. eine neue Pilot-Reinigungsanlage für die industrielle Teilereinigung.

Neben diesen Ereignissen legte das Fraunhofer FEP großen Wert auf die Vertiefung und Erweiterung unserer wissenschaftlichen Partnerschaften. So bieten wir im Wintersemester 2024/2025 an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) wieder eine Lehrveranstaltung im Bereich Konservierung und Restaurierung an, die durch eine Exkursion im Januar 2025 ergänzt wird. Ebenso bieten wir wieder Vorlesungen an der HTW Dresden an, während die Kooperation mit der TU Dresden insbesondere durch die Professur für Beschichtungstechnologien für Elektronik weiter gestärkt wird. Eine besondere Anerkennung erhielt unser Team durch die Ernennung von Prof. Simone Schopf zur Gastprofessorin an der BTU Cottbus im Juli, was die Verbindungen zu akademischen Partnern weiter stärkt.

Mit Blick auf das kommende Jahr wird das Fraunhofer FEP auch weiterhin strategische Forschungsfelder und Entwicklungen verfolgen. Ein besonderer Fokus wird auf den Ausbau der Wasserstoff-Technologien sowie auf zukunftsweisende Bereiche wie Smart Building und nachhaltige Verpackungstechnologien gelegt. Auch die Weiterentwicklung unserer Netzwerke und Kooperationen mit akademischen und industriellen Partnern steht im Zentrum unserer Agenda.

Im Namen des gesamten Teams danken wir allen Mitarbeitern, Partnern und Unterstützern, die das Jahr 2024 zu einem erfolgreichen und ereignisreichen Jahr gemacht haben. Wir freuen uns darauf, die Zusammenarbeit fortzusetzen und gemeinsam an den Herausforderungen und Chancen von morgen zu arbeiten.

Neuigkeiten aus dem Institut



Eröffnung des Forschungszentrums Ressourcen-schonende Energie-Technologien (RESET)

Im April hat das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP das Forschungszentrum RESSourcenschonende Energie-Technologien (RESET) auf seinem erweiterten Campus in Dresden eröffnet.

Mit modernsten Laboreinrichtungen für Sputterepitaxie, biomedizinische Anwendungen und Elektronenstrahltechnologien will das Institut neue Maßstäbe in der Forschung setzen. Strategische Forschungsschwerpunkte im Gebäude sind die Entwicklung innovativer Prozesstechnologien, zum Beispiel zur Erzeugung, Speicherung und Verarbeitung von Wasserstoff (Power-to-X) und zur Abscheidung von hochpräzisen Gallium-Nitrid-Schichten (GaN) auf Siliziumwafern.

Der feierlichen Eröffnung des Gebäudekomplexes wohnten neben vielen geladenen Gästen aus Industrie und Politik sowie am Bau beteiligten Institutionen auch das Kuratorium des Fraunhofer FEP bei.

Institutsleiterin Prof. Elizabeth von Hauff führte im Anschluss den sächsischen Staatssekretär Prof. Thomas Popp und den Oberbürgermeister der Landeshauptstadt Dresden Dirk Hilbert durch die neuen Räumlichkeiten und gab Einblicke in die neuen Forschungsschwerpunkte des Institutes.

Anschließend war auch für alle weiteren Gäste Gelegenheit, bei Gebäudeführungen einen näheren Einblick in die Themen des Fraunhofer FEP zu erhalten.



Auslieferung der Pilotanlage »ISABEL«

Bereits seit Jahrzehnten arbeitet das Fraunhofer FEP erfolgreich an Technologien zur chemiefreien Behandlung von Saatgut mittels beschleunigter Elektronen. Dabei ist das Institut führend in der Entwicklung und Realisierung innovativer Anlagen und leistet einen Beitrag zu nachhaltiger Landwirtschaft.

Mit der Auslieferung einer weiterentwickelten Hochdurchsatz-Pilotanlage ISABEL gelang erneut ein erfolgreicher Technologietransfer an einen Industriekunden. Die Anlage kann bis zu 25 Tonnen Saatgut pro Stunde behandeln. Wieder einmal konnte anwendungsorientierte Forschung bis zum Kunden gebracht werden!

Mehr Details und Informationen zu Elektronen als nachhaltige Alternative zur chemischen Behandlung von Saatgut sind hier nachzulesen:

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



Berufsbegleitende Fortbildung »BeSTeR«

Im September 2024 hat der erste Durchgang zur neu konzipierten und exklusiven Aufstiegsfortbildung zum „Berufsspezialist (m/w/d) für industrielle Teilereinigung – BeSTeR“ begonnen. Der Kurs startete mit einer Präsenzwoche für drei Teilnehmende in Dresden, danach schlossen sich jeweils Phasen mit wöchentlich 3 Stunden Onlineunterricht und Selbstlernphasen an.

Die Teilnehmenden erwartete eine umfassende Fortbildung, die auf die steigende Relevanz der industriellen Teilereinigung für die gesamte Prozesskette eingeht und den Fokus auf das fundierte Verständnis der Grundlagen der industriellen Teilereinigung und die praxisnahe Beherrschung relevanter Fertigkeiten legt, denn selbst kleinste Verunreinigungen an Bauteilen können die Funktionalität späterer Produkte erheblich beeinträchtigen.

Die zweite Präsenzwoche fand Ende November 2024 statt, gefolgt von zwei Praxiswochen – eine in Dresden im Januar und eine in Stuttgart im Februar. Nach weiteren Praxisteilen und der Bearbeitung von Projektarbeiten in den Unternehmen der Teilnehmenden erlangen sie dann bis Sommer 2025 den IHK-Abschluss auf DQR Niveau 5 mit abschließenden Prüfungen im Juni und August.

Das Bildungsangebot ist eine innovative Kooperation zwischen dem Fraunhofer FEP und der SBG Dresden.

Ansprechpartner/innen



Prof. Dr. Elizabeth von Hauff

Institutsleiterin

Telefon +49 351 2586-0

elizabeth.von.hauff@
fep.fraunhofer.de



Dr. Burkhard Zimmermann

Stv. Institutsleiter

Telefon +49 351 2586-386

burkhard.zimmermann@
fep.fraunhofer.de



Almar Schulz-Coppi

Verwaltungsleiter

Telefon +49 351 2586-400

almar.schulz-coppi@
fep.fraunhofer.de



Dr. Christian May

Geschäftsentwicklung

Telefon +49 351 2586-220

christian.may@
fep.fraunhofer.de



Annett Arnold

Kommunikation

Telefon +49 351 2586-452

annett.arnold@
fep.fraunhofer.de



Dr. Burkhard Zimmermann

Bereichsleiter Elektronenstrahl

Telefon +49 351 2586-386

burkhard.zimmermann@
fep.fraunhofer.de



Jens Drechsel

Bereichsleiter Systeme

Telefon +49 351 2586-355

jens.drechsel@
fep.fraunhofer.de



Dr. Nicolas Schiller

Bereichsleiter Plasmatechnik

Telefon +49 351 2586-131

nicolas.schiller@
fep.fraunhofer.de



Dr. Olaf Zywitzki

Werkstoffkunde/Analytik

Telefon +49 351 2586-180

olaf.zywitzki@
fep.fraunhofer.de



Dr. Matthias Fahland

Abteilungsleiter R2R-Technologien

Telefon +49 351 2586-135

matthias.fahland@
fep.fraunhofer.de



Prof. Dr. Simone Schopf

Biomedizinische Laboreinheit

Telefon +49 351 2586-205

simone.schopf@
fep.fraunhofer.de



Dr. Jörg Neidhardt

Abteilungsleiter S2S-Technologien

Telefon +49 351 2586-280

joerg.neidhardt@
fep.fraunhofer.de



Prof. Dr. Gösta Mattausch

Abteilungsleiter Elektronenstrahl-
Systeme und Technologien

Telefon +49 351 2586-202

goesta.mattausch@
fep.fraunhofer.de

Kuratorium

Kuratoriumsvorsitz

Prof. Dr. Herwig Buchholz

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

Dr. Ulrike Geiger

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referatsleiterin Quantentechnologien, Quantum Computing

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.
Leiterin Barriere- und Präzisionsschichten

Kuratoriumsgäste

Dr. Patrick Hoyer

Fraunhofer-Gesellschaft, Institutsbetreuer



Foto der 35. Kuratoriumssitzung am 17. April 2024.

Marcel König

Meyer Burger AG, Leiter Forschung und Entwicklung

Dipl.-Ing. Peter G. Nothnagel

ehem. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Referatsleiter

Prof. Dr. Michaela Schulz-Siegmund

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

Pia von Ardenne

VON ARDENNE Holding SE & Co. KGaA, CEO

Jörg Wittich

ALD Vacuum Technologies GmbH, Geschäftsführer

MR Christoph Zimmer-Conrad

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr; Referatsleiter Industrie

Dr. Ran Ruby Yan

GLOBALFOUNDRIES Dresden Module One LLC & Co. KG
Director Human-Machine-Interface

Diese Liste stellt den Stand zur Kuratoriumssitzung 2024 dar. Für eine aktuelle Version besuchen Sie bitte unsere Webseite unter:

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

Organigramm



Das abgebildete Organigramm stellt den Stand von 12/2024 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 8,5 Mio. € erwirtschaften. Aus öffentlichen Projekten, gefördert von EU, Bund und Ländern, wurden Erträge in Höhe von 3,7 Mio. € erzielt. Davon konnte ein Anteil in Höhe von 0,8 Mio. € durch öffentlich geförderte Projekte gemeinsam mit mittelständischen Unternehmen eingeworben werden. Der Grundfinanzungsverbrauch lag bei 11,0 Mio. € im Betriebshaushalt.

Investitionsaufwand

Der Gesamtaufwand aus Betriebs- und Investitionsaufwand betrug 23,3 Mio. €. Im Betrachtungszeitraum wurden 1,0 Mio. € in Gerätetechnik, Bau und Infrastruktur investiert.

Personalentwicklung

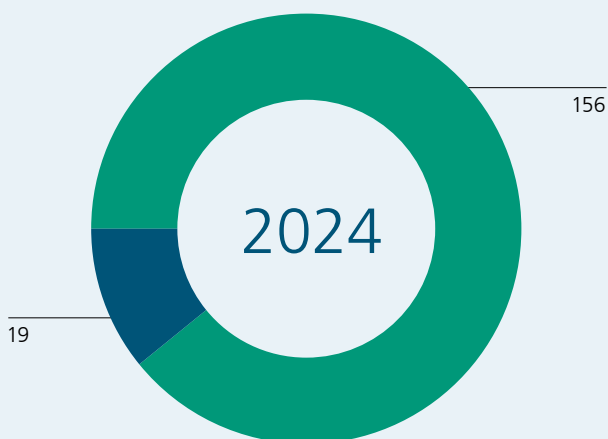
Im vergangenen Jahr waren durchschnittlich 156 Mitarbeitende (davon 9 Auszubildende) und 19 wissenschaftliche Hilfskräfte/Praktikanten im Institut tätig. Von den 56 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die als Wissenschaftler beschäftigt waren, arbeiteten 12 Mitarbeitende zusätzlich an ihren Promotionsthemen. Der Frauenanteil im Wissenschaftsbereich beträgt 25 Prozent.

Personal- und Sachaufwand

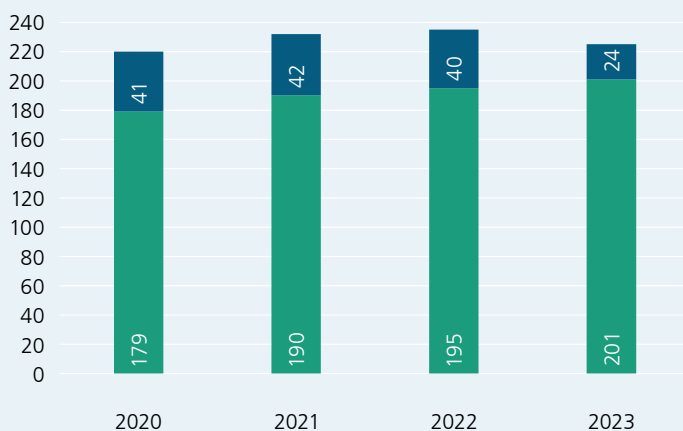
Der Anteil der Personalaufwendungen belief sich auf 12,2 Mio. €, dies entspricht 54,5 Prozent des Betriebshaushalts in Höhe von 22,4 Mio. €. Der Sachaufwand betrug 10,2 Mio. €.

Die Zahlen im Vergleichszeitraum 2020 – 2023 sind inklusive des ehemaligen Bereichs Mikrodisplays und Sensorik angegeben.

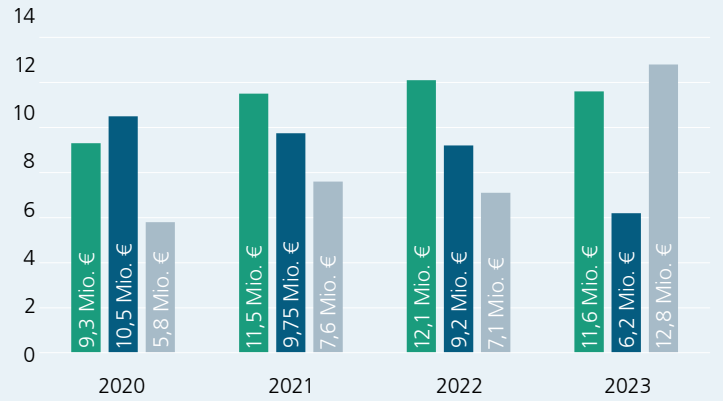
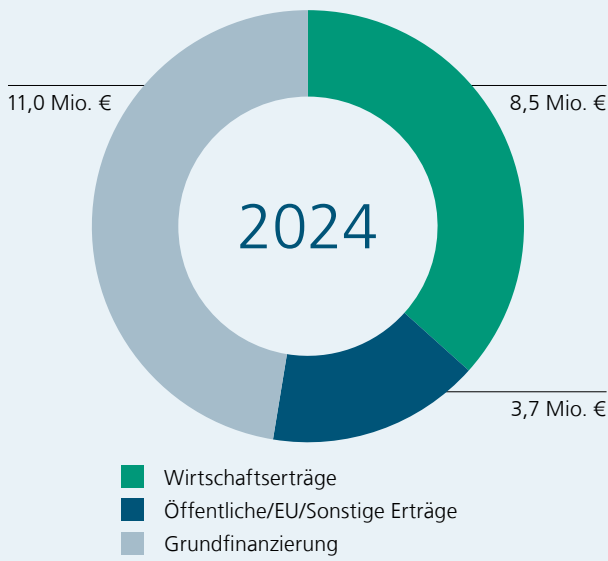
Personalentwicklung



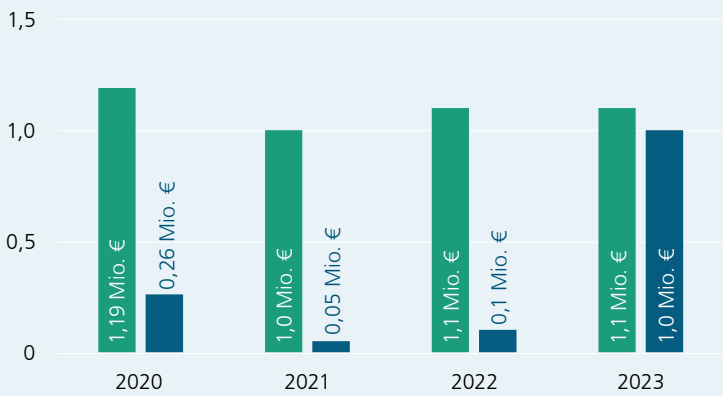
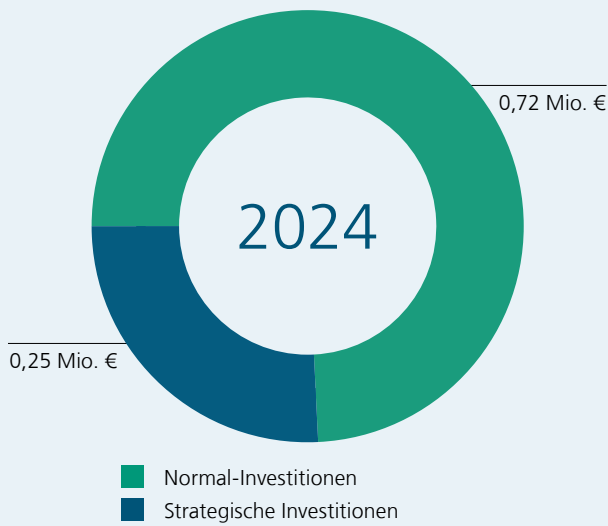
- Mitarbeitende inkl. Auszubildende, Doktoranden, ANÜ
- Studierende/Praktikanten



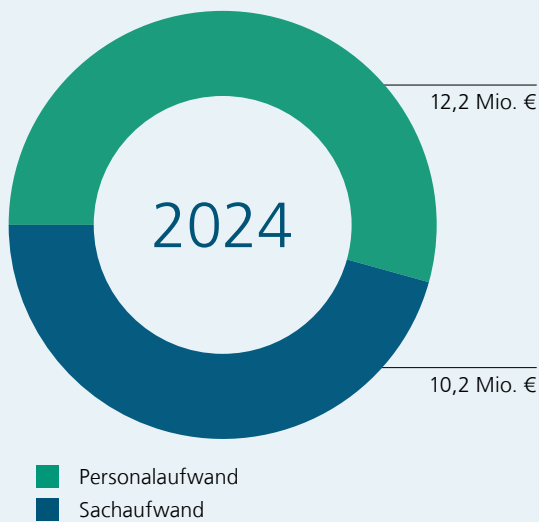
Finanzierung



Investitionsaufwand

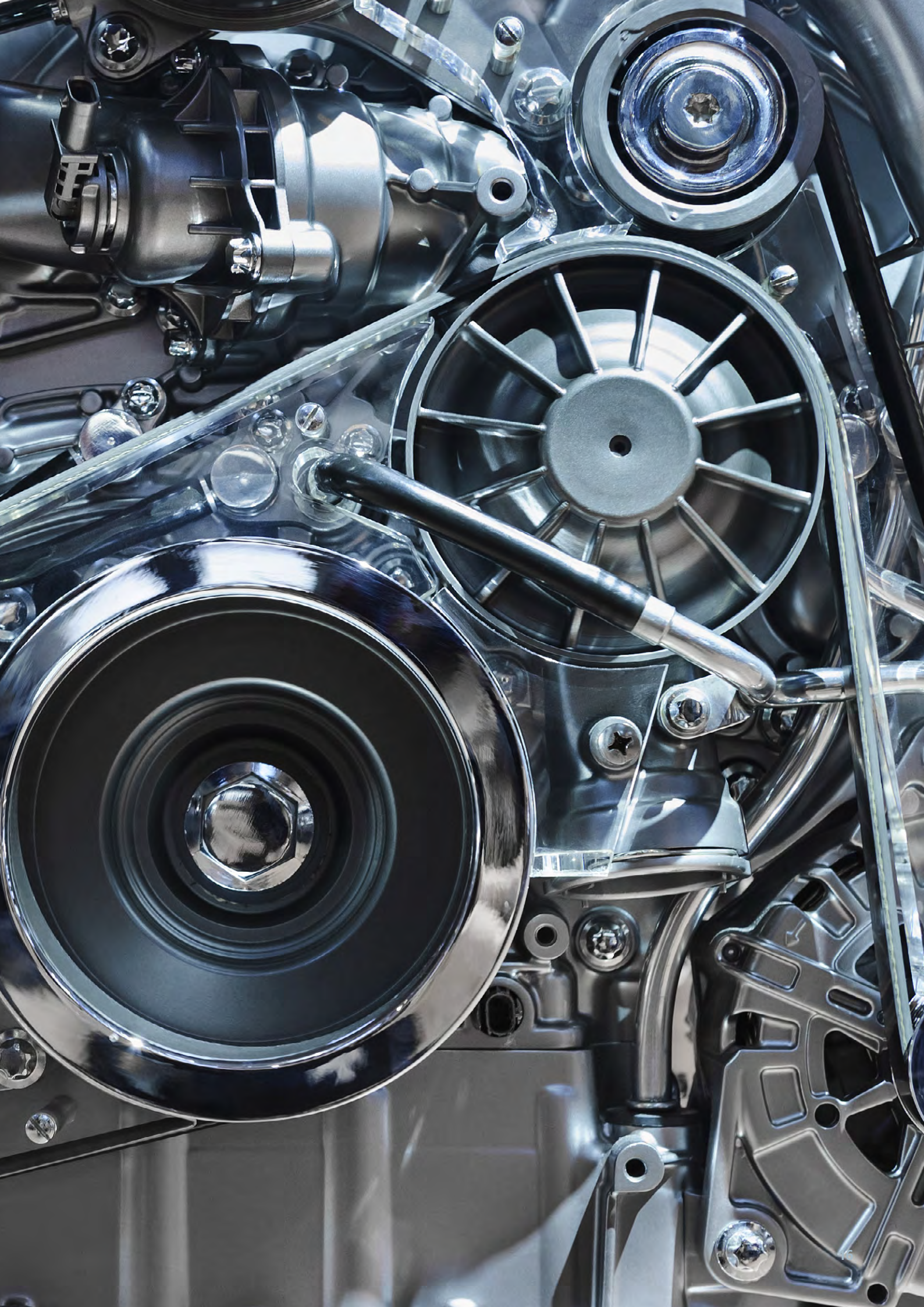


Personal- und Sachaufwand



Industrielösungen

| | |
|--------------------------------------|----|
| Energie und Nachhaltigkeit | 17 |
| Kulturgut und Denkmalschutz | 17 |
| Life Sciences | 18 |
| Maschinenbau | 18 |
| Mobilität | 19 |
| Optik, Sensorik und Elektronik | 19 |
| Smart Building | 20 |
| Smart Farming | 20 |
| Umwelttechnologien | 21 |
| Verpackung | 21 |
| Zukunftsthemen | 22 |



Energie und Nachhaltigkeit



Das Fraunhofer FEP bietet innovative Technologien und Lösungen im Bereich Energie und Nachhaltigkeit, die zur Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung beitragen.

Für die Photovoltaik entwickelt das Institut fortschrittliche Beschichtungsverfahren zur Optimierung von Solarzellen und -modulen. Im Bereich Wasserstofftechnologie kommen präzise Dünnschichtabscheidungen für Elektrolyseure zum Einsatz, um die Effizienz der Wasserstoffproduktion zu erhöhen. Auch für Batterietechnologien entwickeln wir maßgeschneiderte Beschichtungen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Energiespeichersystemen.

Zudem arbeitet das Fraunhofer FEP an intelligenten Lösungen für das Energiemanagement, um nachhaltige und effiziente Energiesysteme zu unterstützen.

Kulturgut und Denkmalschutz



Das Fraunhofer FEP bietet eine breite Palette an innovativen Technologien und Dienstleistungen zur Erhaltung und Pflege von Kulturgütern. Unsere Expertise erstreckt sich von der Charakterisierung dünner Schichten und Oberflächen fragiler Materialien über die Rekonstruktion historischer Spiegel bis hin zu Beschichtungsverfahren.

Wir bieten auch speziell angepasste Lösungen für die Reinigung und Vorbehandlung von Oberflächen fragiler Objekte sowie die Entwicklung von Dünnschicht-Korrosionssensoren an. Mit modernster Technologie und fundierter wissenschaftlicher Herangehensweise unterstützen wir die Forschung und Entwicklung, Qualitätssicherung und Restaurierung historischer Objekte.

Unser Ziel ist es, durch kontinuierliche Innovation und Anpassung unserer Prozesse, die bestmöglichen Lösungen zur Bewahrung wertvoller Kulturgüter zu bieten.

Life Sciences



Das Fraunhofer FEP bietet ein breites Spektrum an Technologien zur Optimierung von Materialien und Oberflächen für den Life Sciences Sektor.

Unsere Kernkompetenzen liegen in der Entwicklung bio-funktionaler Beschichtungen und der gezielten Modifizierung von Oberflächeneigenschaften, etwa zur Verbesserung der Biokompatibilität von Implantaten und medizintechnischen Produkten. Mit unseren Verfahren zur Keimminderung und Sterilisation durch niederenergetische Elektronenstrahlen tragen wir zur sicheren und effizienten Aufbereitung medizinischer Geräte und Verpackungen bei.

Der moderne biomedizinische Laborkomplex des Fraunhofer FEP besteht aus Laboreinheiten sowohl für die Mikrobiologie, Zellbiologie und Bioanalytik als auch für oberflächenchemische und biotechnologische Reaktionsprozesse. Dies ermöglicht uns eine interdisziplinäre und industrieorientierte Forschung und Entwicklung für unterschiedlichste Life Science Applikationen.

Wir freuen uns darauf, mit Ihnen zu evaluieren, wie unsere Technologien Ihre Oberflächen für den Kontakt mit biologischen Medien qualifizieren können.

Maschinenbau



Optimierte Oberflächen sind besonders im Maschinenbau die Basis vieler Innovationen. Schichten, die Produkte und Bauteile beständig gegen Korrosion, Verschleiß und Kratzer machen, sind von enormer wirtschaftlicher Bedeutung: So liegen allein die Schäden durch Korrosion weltweit jährlich in Milliardenhöhe. Auch reibungsmindernde Schichten tragen in beträchtlichem Maße zu einer Senkung des Energie- und Materialverbrauchs bei.

Am Fraunhofer FEP entwickeln wir hochproduktive Vakuumprozesse und -technologien, um sowohl ebene Oberflächen als auch Bauteile zu reinigen und ihre Eigenschaften durch Aufbringen unterschiedlichster Schichten und Schichtsysteme zu verbessern: Mittels Sputtertechnologie, plasmaaktivierter Hochratebedampfung und der Hochrate-PECVD bringen wir Funktionsschichten effizient auf. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung können wir Ihnen zudem ein umfangreiches Portfolio an Reinigungstechnologien anbieten.

Den Elektronenstrahl nutzen wir als vielseitiges Werkzeug, um Bauteile zu schweißen, Oberflächen zu härten oder in ihren Eigenschaften gezielt zu verändern. Die Aufskalierung aller Verfahren für industriennahe Produktionsbedingungen ist dabei ein wichtiger Schwerpunkt unserer Arbeit.

Mobilität

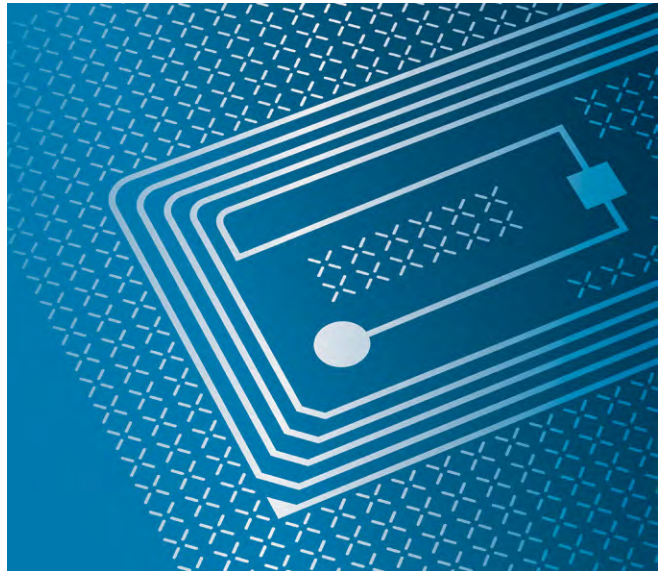


Unsere maßgeschneiderten Industrielösungen für den Mobilitätssektor umfassen hochmoderne und kundenspezifische Technologien zur Optimierung von Oberflächen im Automotive-Sektor, im Bereich der Schiene ebenso wie für die Luft- und Raumfahrt.

Die speziell entwickelten Beschichtungslösungen verbessern sowohl die Haltbarkeit als auch die Leistungsfähigkeit von Fahrzeugkomponenten und tragen zur Reduzierung von Emissionen bei. Im Bereich der Abgasreinigung werden fortschrittliche Technologien zur effizienten Minderung von Schadstoffen in maritimen Anwendungen erarbeitet. Darüber hinaus bieten wir die Entwicklung von Beschichtungslösungen und Oberflächenbehandlungen für Schienenfahrzeuge, die im Fahrgastbereich ebenso wie an technischen und mechanischen Komponenten zum Einsatz kommen.

Durch präzise Forschung und Entwicklung entstehen so innovative Lösungen für nachhaltige und leistungsstarke Mobilität.

Optik, Sensorik und Elektronik



Das Fraunhofer FEP bietet fortschrittliche technologische Lösungen für die Wachstumsbranchen Optik, Sensorik und Elektronik. Unsere Beschichtungstechnologien gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie sowohl bestehende Produkte optimieren als auch neue Produktinnovationen ermöglichen.

Mit unserer langjährigen Erfahrung und modernster Anlagentechnik sind wir in der Lage, elektrische, optische, akustische und magnetische Schichten präzise und homogen auf großen Flächen aufzubringen.

Dabei sorgen unsere Vakuumverfahren für hohe Beschichtungsraten, Genauigkeit und Zuverlässigkeit, was eine produktive und kostengünstige Herstellung anspruchsvoller Produkte gewährleistet. Der Einsatz von Elektronenstrahltechnologie ermöglicht es uns zudem, empfindliche Materialkombinationen, insbesondere im Bereich der Sensorik, äußerst präzise zu verschweißen und Lösungen zu schaffen, die mit anderen Verfahren nicht realisierbar wären.

Smart Building



In der Baubranche und Architektur spielen funktionale Oberflächen für Fassaden oder Dächer eine immer wichtigere Rolle. Sie tragen nicht nur zur ästhetischen Gestaltung bei, sondern erfüllen auch entscheidende technische Funktionen.

Smart Building-Technologien integrieren innovative Lösungen wie thermochrome und Low-E-Beschichtungen, die die Energieeffizienz und den Komfort im Gebäude erhöhen. Diese intelligenten Oberflächen ermöglichen eine effektive Regulierung von Temperatur und Licht, was den Energieverbrauch erheblich senkt. Damit setzen sie neue Maßstäbe für nachhaltiges und zukunftsorientiertes Bauen.

Das Fraunhofer FEP verfügt über langjähriges Know-How und vielseitige Möglichkeiten in der Prozess- und Schichtentwicklung auf flexiblen Materialien wie Folien und Dünnglas sowie auch auf Flachglas. Dies kann in Rolle-zu-Rolle- sowie Sheet-to-Sheet-Prozessen im Vakuum oder an Atmosphäre erfolgen.

Darüber hinaus bieten wir mit unseren Kompetenzen in der Elektronenstrahl-, Sputter- und Plasmatechnologie Lösungen für die Beschichtung verschiedener Komponenten für Wärmespeicher der Zukunft wie beispielsweise elektrokalendarische Wärmepumpen oder Zeolith-Wärmespeichermaterialien.

Smart Farming



Die Landwirtschaft steht vor großen Herausforderungen, die aus dem Klimawandel und der Verknappung natürlicher Ressourcen resultieren. Um Erträge zu steigern, Kosten zu senken und gleichzeitig Umweltbelastungen zu minimieren, sind innovative Ansätze erforderlich. Die smarte Landwirtschaft setzt hier an und leitet durch den Einsatz modernster Technologien eine neue Ära der Nachhaltigkeit ein.

Das Fraunhofer FEP konzentriert sich im Bereich Smart Farming auf fortschrittliche Elektronenstrahl- und Plasmatechnologien, die zahlreiche Vorteile bieten. Unsere Technologien tragen nicht nur zur Effizienzsteigerung der Produktion bei, sondern reduzieren auch die Umweltbelastung erheblich.

Die Reduzierung des Chemikalieneinsatzes und die verbesserte Ressourcennutzung schaffen die Basis für eine nachhaltigere Zukunft in der Landwirtschaft.

Umwelt- technologien



Innovative Lösungen für Umwelttechnologien leisten einen entscheidenden Beitrag zur Ressourcenschonung und Emissionsreduktion.

Wir entwickeln Verfahren, wie die Biolaugung sowie Technologien zur Abwasseraufbereitung oder Erzeugung reaktiver Flüssigkeiten zur effizienten Reinigung und Hygienisierung. Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit stehen dabei im Fokus der Forschungsarbeit an neuen Technologien. Für die effiziente Abgasbehandlung setzen wir niederenergetische Elektronen ein, um Schadstoffe nachhaltig abzubauen. Im Bereich der Energiespeicherung und der Nutzung regenerativer Energien bieten wir z. B. die Entwicklung von Barrierschichten für Turbinenschaufeln und spezielle Beschichtungen für Brennstoffzellen an.

Darüber hinaus arbeiten wir an Lösungen für das Werkstoffrecycling, um durch moderne Beschichtungsverfahren eine nachhaltige Wiederverwertung zu ermöglichen.

Verpackung



Der Verpackungssektor unterliegt einem enormen Kostendruck: Verpackungsmaterial darf meist nicht viel kosten, hat jedoch große Bedeutung für die Qualität und die Haltbarkeit des Endproduktes. Zudem steigt die Nachfrage nach Verpackungsmaterialien stetig. Demgegenüber muss die Menge an Materialien, die auf fossilen Rohstoffen basieren verringert werden, um einen Beitrag für eine nachhaltige Zukunft zu leisten. Der Anteil an erneuerbaren, biobasierten Materialien für Verpackungsprodukte muss steigen, um auch Umweltverschmutzung z. B. durch Mikroplastik zu vermeiden.

Die Technologien des Fraunhofer FEP zur Vakuumbeschichtung und Oberflächenmodifikation mit Elektronen sind aufgrund ihrer hohen Produktivität und der sehr guten erzielbaren Oberflächeneigenschaften für diese Aufgabe bestens geeignet. Auf Grundlage unserer technologischen Kompetenzen bieten wir insbesondere die Funktionalisierung von biobasierten und biologisch abbaubaren Folien sowie von Monomaterialien beispielsweise für Permeationsbarrieren an, um die Haltbarkeit des Produktes zu verlängern. Zudem nutzen wir die Elektronenstrahltechnologie zur Oberflächenmodifikation des Kunststoffs oder zur Aushärtung von Druckfarben oder Lack-basierten Funktionsschichten.

Wir unterstützen Sie mit der Entwicklung hochproduktiver Technologien und Prozesse bei der Veredelung ihrer Verpackung!

Zukunftsthemen



Die Zukunftsthemen, denen sich das Fraunhofer FEP verpflichtet fühlt und die die Arbeitsrichtung des Instituts in den nächsten Jahren bestimmen, sind technologisch wegweisend und sollen maßgeblich zur Bewältigung globaler Herausforderungen beitragen. Energieeffiziente und nachhaltige Lösungen, innovative Life Science-Anwendungen und die Digitalisierung industrieller Prozesse sind essenziell für die nachhaltige Entwicklung und das Wohlergehen der Gesellschaft.

- Digitalisierung
- Sputterepitaxie
- Plasmachemie

Das Fraunhofer FEP leistet durch seine Forschungsarbeit einen entscheidenden Beitrag zur Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Wirtschaft.

Aus der Forschung

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bereich Elektronenstrahl | 25 |
| ta-C-Beschichtungen mittels anodischer Bogenverdampfung | 26 |
| Plasmabehandelte Flüssigkeiten: Möglichkeiten zur nachhaltigen und Chemie-freien Reinigung und Hygienisierung | 27 |
| »LinTR – Lernlabor Industrielle Reinigung« als Bestandteil der Weiterbildung im Bereich technische Sauberkeit | 28 |
| Plasmabehandlung von Polymeroberflächen für den Einsatz in elektrokalendarischen Wärmepumpen | 29 |
| Bakterien als Materialproduzenten: Elektronenstrahl-unterstützte mikrobielle Herstellung von biogenem Kalkstein | 30 |
| Bereich Plasma | 31 |
| Biomimetische Oberflächen – Rolle-zu-Rolle-Strukturierung mittels Nano-Imprint-Lithografie und Elektronenstrahlvernetzung ... | 32 |
| Antipathogene Polymerfolien für Touchscreens | 33 |
| Neue Generation von Schlüsselkomponenten für die drahtlose, optische und Quantenkommunikation durch abstimmbare ferroelektrische Nitride | 34 |
| Bereich Systeme | 35 |
| Hvdirect – Hochspannungsversorgung für Elektronenstrahlprozesse ... | 36 |
| Werkstoffkunde / Analytik | 37 |
| Analysen chemischer Tiefenprofile durch optische Glimmentladungs- spektrometrie (GD-OES) | 38 |
| Biomedizinischer Laborkomplex | 39 |
| Biologie trifft Technik für nachhaltige Verfahren | 40 |

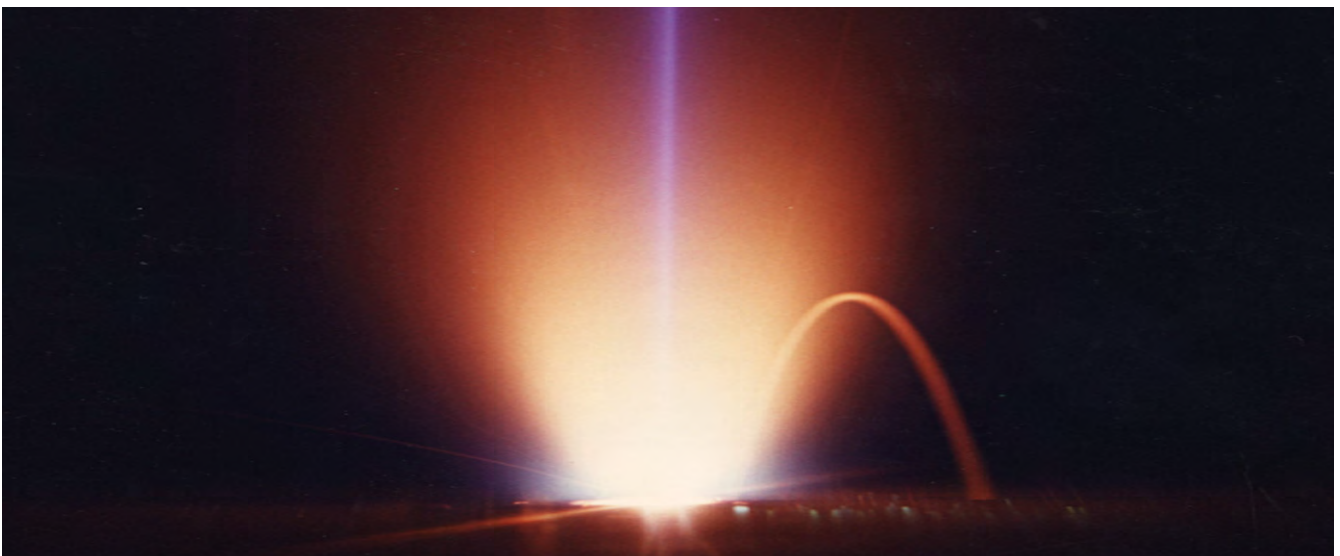


Bereich Elektronenstrahl

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.

Im Bereich Elektronenstrahl werden einerseits Oberflächen fester Körper wie metallische Bänder und Platten, 3D-geformte Bauteile und Schüttgut, aber auch Textilien und biologische Gewebe behandelt, funktionalisiert, gereinigt, gefügt oder beschichtet. Dabei kommen verschiedene Verfahren der physikalischen und chemischen Dampfphasenabscheidung (PVD/CVD) sowie des Elektronenstrahlschweißens im Vakuum, aber auch Reinigungstechniken, Elektronenstrahlbehandlung und -Grafting an Atmosphärendruck zum Einsatz. Andererseits werden biomedizinische Flüssigkeiten oder Abwässer sowie industrielle Abgase oder chemische Gase mittels Elektronenstrahlen gereinigt, inaktiviert oder gezielt Konversionsreaktionen zugeführt. Hierfür werden nicht nur Prozesse, sondern auch kundenangepasste Elektronenstrahl- und Plasmaquellen entwickelt und überführt. Ziel sind anwendungsreife Gesamtlösungen für unsere Kunden – Technologien und Systeme aus einer Hand.

Die Anwendungsschwerpunkte aktueller Projekte liegen in Energieanwendungen (Beschichtungen für Batterien, Wasserstofftechnologien, Wärmespeicher, Photovoltaik), Luftfahrt (Korrosionsschutz, thermische Barriere auf Turbinenkomponenten), chemischen Anwendungen (Power-to-Chem-Prozesse) sowie Umwelt und Life Sciences (Behandlung von Saatgut, Abwasser und Abgasen, Stimulation mikrobiologischer Prozesse).



ta-C-Beschichtungen mittels anodischer Bogenverdampfung

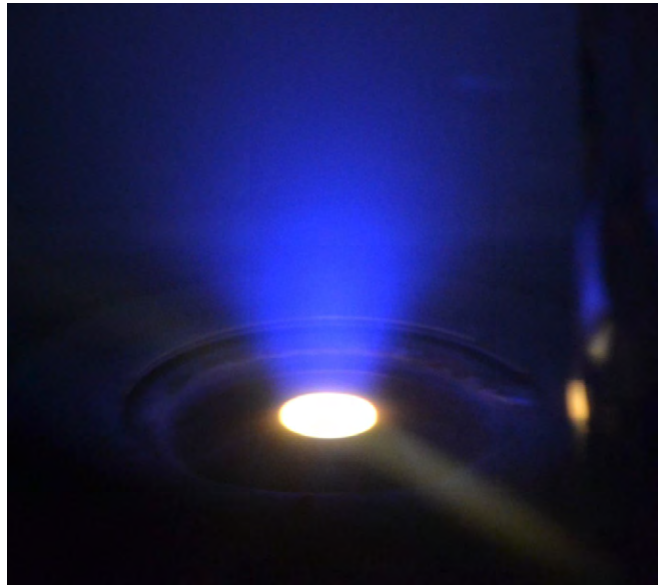
Kontakt: Dr. Bert Scheffel | Telefon +49 351 2586-243 | bert.scheffel@fep.fraunhofer.de

Die anodische Bogenverdampfung von Graphit ermöglicht die Abscheidung hochwertiger, dropletfreier und glatter ta-C-Beschichtungen mit Anwendungspotential u. a. für Hartstoffbeschichtungen. Es wurden Abscheideraten bis zu 18 nm/s erreicht.

Tetraedrischer amorpher Kohlenstoff (ta-C) gehört zu den vielversprechendsten Modifikationen der "Diamond-like Carbon" Materialien. Wasserstofffreie ta-C-Schichten sind chemisch inert und zeichnen sich durch hohe Härte, thermische Stabilität, Wärmeleitfähigkeit sowie niedrige Reibungskoeffizienten aus. Diese Eigenschaften eröffnen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere als verschleißfeste Beschichtungen für Werkzeuge, Bauteile und Automobilkomponenten sowie als Diffusionsbarriere in der Wasserstofftechnologie. Für die Abscheidung von ta-C-Schichten sind bereits verschiedene Verfahren etabliert. Bei Arc-basierten Verfahren werden allerdings charakteristische Droplets bzw. Partikel emittiert und in den Schichten eingelagert. Diese beeinträchtigen die Schichteigenschaften und können nur durch aufwändige Filtertechniken reduziert werden.

Am Fraunhofer FEP wurde ein physikalisches Aufdampfverfahren entwickelt, das mit einer Hohlkathodenbogenentladung als Elektronenquelle arbeitet und die anodische Bogenverdampfung von Graphit zur Abscheidung wasserstofffreier Kohlenstoffschichten ermöglicht. Durch das Anlegen einer Bias-Spannung können die Teilchenenergien erhöht und die Schichteigenschaften angepasst werden. Die auf Stahlsubstraten abgeschiedenen Schichten mit Dicken von 0,5–2 µm wurden mittels Nanoindentation, Raman-Spektrometrie, FE-SEM, AFM und spektroskopischer Ellipsometrie untersucht.

Die Analysen zeigen einen hohen Anteil an tetraedrischen sp³-Bindungen von 70–88 %. Die Energien der Dampfteilchen sind hoch genug, um bei Substrattemperaturen unter 200 °C selbst ohne Bias-Spannung hohe Härtewerte von 61–83 GPa und einen Elastizitätsmodul von 588–860 GPa zu erreichen. Die Beschichtungen sind dropletfrei und zeichnen sich durch eine geringe Oberflächenrauheit aus. Die Beschichtungsraten



Prozessfoto der anodischen Bogenverdampfung von Graphit

von 4–18 nm/s sind für ta-C-Schichten außergewöhnlich hoch, was die Eignung für industrielle Anwendungen unterstreicht. Die ta-C-Beschichtungen mit hoher Härte und glatter Oberfläche eignen sich sehr gut für verschleißfeste Oberflächen.

Das innovative Beschichtungsverfahren kann durch Aneinanderreihen mehrerer Verdampfermodule in der Beschichtungsbreite leicht skaliert werden. Darüber hinaus ist das Verfahren auch für weitere Materialien und Anwendungen geeignet, wie z. B. für die schädigungsarme Abscheidung von transparenten leitfähigen Oxiden.

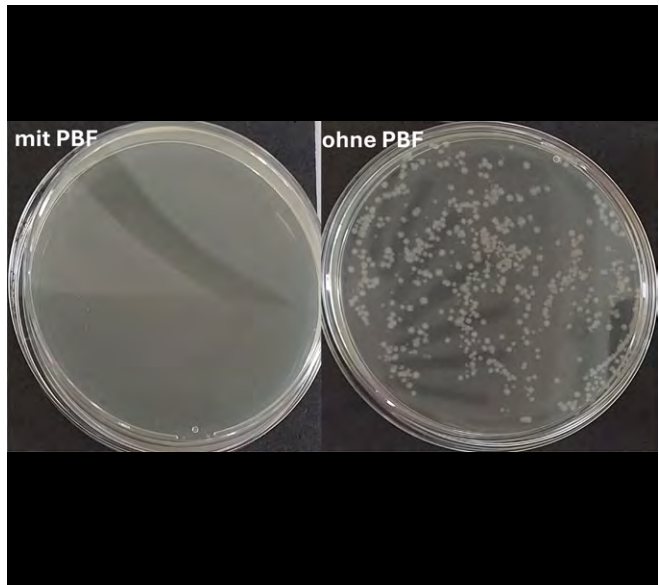
Plasmabehandelte Flüssigkeiten: Möglichkeiten zur nachhaltigen und Chemie-freien Reinigung und Hygienisierung

Kontakt: Linda Steinhäuser | Telefon +49 351 2586-357 | linda.steinhaeuser@fep.fraunhofer.de

Plasmabehandelte Flüssigkeiten haben das Potential, den Einsatz herkömmlicher Reinigungs- und Desinfektionsmittel zu reduzieren. Am Fraunhofer FEP werden die Zusammenhänge der reinigenden und hygienisierenden Wirkung, sowie der Lagerfähigkeit erforscht.

Plasmaaktiviertes Wasser (PAW), auch mit dem Oberbegriff plasmabehandelte Flüssigkeit (PBF) bezeichnet, ist für seine desinfizierende Wirkung bekannt. Plasmabehandelte Flüssigkeiten werden durch die Einleitung des ionisierten Gases von Atmosphärendruck-Plasmaquellen in Flüssigkeiten hergestellt, wodurch sich die durch die Plasmaquelle erzeugten reaktiven Stickstoff- und Sauerstoffspezies in der Flüssigkeit lösen bzw. mit Flüssigkeitsbestandteilen reagieren. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher reaktiver Spezies sowie des damit einhergehenden niedrigen pH-Werts und hohen Redox-Potentials zeigen diese Flüssigkeiten eine mikrobizide Wirkung. Aufgrund der hohen Reaktivität besteht zudem das Potential zum Einsatz als Reinigungsmittel. Im Rahmen unserer Forschungstätigkeit zu PBF untersuchen wir die hygienisierende, aber auch die reinigende Wirkung sowie die Eignung zum kombinierten Einsatz für Reinigung und Desinfektion. Grundlegend werden für die Fragestellungen Zusammenhänge zur Wirksamkeit und zum Effekt der verschiedenen reaktiven Spezies untersucht, um basierend auf diesen Resultaten die Herstellungstechnologie zu optimieren und den industriellen Einsatz von PBF wirtschaftlich attraktiv und reproduzierbar zu gestalten.

In unseren Untersuchungen werden verschiedene Modell-Mikroorganismen betrachtet, um die hygienisierende Wirkung von PBF unter variierenden Herstellungs- und Umgebungsbedingungen zu bewerten. Beispielsweise konnte bereits bei einer kurzen Behandlungszeit von nur 5 Minuten an Verunreinigungen aus *Escherichia coli* eine Reduktion um 99,99 % erzielt werden (siehe Abbildung). Zur Untersuchung der Reinigungsleistung kann beispielsweise die schonende Entfernung von Graphitresten auf porösen Quarzoberflächen angeführt werden.



Wachstum von Escherichia coli Bakterien nach Behandlung mit PBF (links) und ohne Behandlung (rechts). Vitale Bakterien wachsen als weiße Kolonien auf dem Nährboden.

Neben der reinigenden und hygienisierenden Wirkung stellt die Lagerfähigkeit der PBF einen wichtigen Punkt für den industriellen Einsatz dar. Diesbezüglich konnten wir in ersten Untersuchungen zeigen, dass die Flüssigkeiten über 10 Monate ihre Reaktivität behalten.

Im Fokus weiterer Forschungsarbeit stehen die Zusammenhänge zwischen Plasmaquelle und Eigenschaften bzw. Spezies-Gehalt der erzeugten PBF sowie geeignete Monitoringmethoden zur reproduzierbaren industriellen Implementierung.

»LinTR – Lernlabor Industrielle Reinigung« als Bestandteil der Weiterbildung im Bereich technische Sauberkeit

Kontakt: Daniel Weile | Telefon +49 351 2586-247 | daniel.weile@fep.fraunhofer.de

Das LinTR-Lernlabor für industrielle Teilereinigung bei Fraunhofer schließt eine Lücke in der Weiterbildung zur Teilesauberkeit, kombiniert Theorie und Praxis und fördert interdisziplinäre Kommunikation.

Die Bedeutung der technischen Sauberkeit in der industriellen Produktion nimmt in immer mehr Branchen zu. Reinigungsprozesse sind entscheidend, um Qualitätsanforderungen eines Bauteils zu gewährleisten. Dennoch fehlt es an praxisnahen Trainingsmöglichkeiten, um komplexe Prozessketten in Bezug auf die Teilesauberkeit zu erlernen und zu beherrschen. Um diese Lücke zu schließen, wurde das LinTR – Lernlabor für industrielle Teilereinigung ins Leben gerufen. Dieses innovative Lernlabor soll ein flexibles, modulares Konzept anbieten, das theoretisches Wissen und praktische Fähigkeiten vereint, und so eine Schlüsselrolle in der Weiterbildung und beruflichen Qualifizierung einnehmen.

Gefördert von der Fraunhofer Academy arbeiten die Fraunhofer-Institute FEP, IWS, IVV-DD und IPA an der Entwicklung des Lernlabors. Es werden nicht nur technische Möglichkeiten ausgebaut, sondern auch ein neues methodisch-didaktisches Konzept entwickelt. Dieses Konzept orientiert sich an typischen Prozessketten und kann den Teilnehmenden durch praxisnahe Trainings in verschiedenen Laboren ein umfassendes Verständnis der industriellen Teilereinigung nahebringen. Hierfür wurde ein zweiteiliges, zerlegbares Modellbauteil entwickelt, welches durch eine Kombination unterschiedlichster Geometrien und standardisierte Verunreinigungen eine problembezogene Lehre ermöglicht.

Ein zentrales Element des LinTR-Lernlabors ist die Interdisziplinarität. Die Teilnehmer lernen, die komplexen Einflüsse entlang einer Prozesskette zu verstehen und die Bedeutung einer effektiven Zusammenarbeit zu erkennen. So wird nicht nur das technische Wissen vertieft, sondern auch die Fähigkeit zur Problemlösung in Gruppen geschult.



6-Kammer-Ultraschall-Lehr-Anlage REDESO

Ein weiterer wichtiger Meilenstein des Lernlabors ist die Inbetriebnahme unserer Lehr-Reinigungsanlage REDESO. Diese 6-Kammer-Ultraschallanlage für die wässrige Reinigung verfügt über sehr weite Einstellbarkeit von Prozessparametern und ermöglicht dadurch eine praxisnahe Durchführung von Reinigungsversuchen unterschiedlichster Bauteile sowie Fertigungsprozessen. Zukünftig soll die Anlage neben der Demonstration von Reinigungseffekten auch zur Fehleranalyse im Reinigungsprozess genutzt werden, beispielsweise indem bewusst einige Parameter unvorteilhaft eingestellt werden, um so die Schulungsteilnehmenden zur systematischen Fehlersuche zu befähigen.

Insgesamt wird das LinTR-Lernlabor als integraler Bestandteil der Weiterbildung im Bereich technische Sauberkeit bei Fraunhofer etabliert und trägt somit entscheidend zur Sicherstellung der Qualität in der industriellen Produktion bei.

Plasmabehandlung von Polymeroberflächen für den Einsatz in elektrokalorischen Wärmepumpen

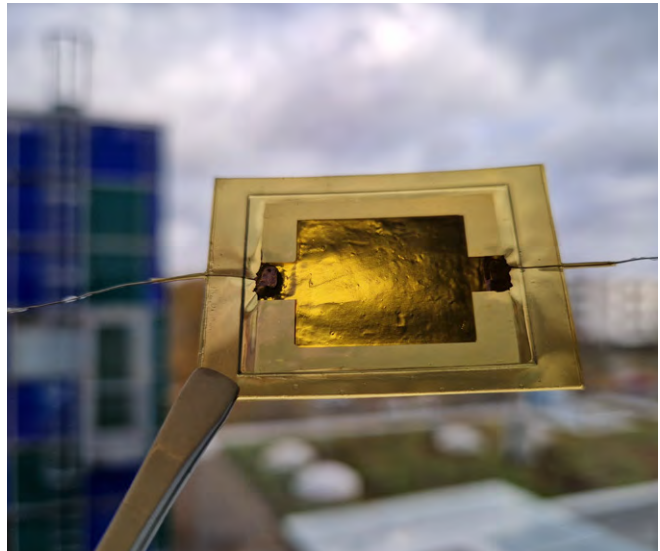
Kontakt: Dr. Fred Fietzke | Telefon +49 351 2586-366 | fred.fietzke@fep.fraunhofer.de

Im Leitprojekt EIKaWe arbeiteten sechs Fraunhofer-Institute über mehrere Jahre an der Entwicklung elektrokalorischer Wärmepumpen. Das Fraunhofer FEP war mit benetzungsfördernden Oberflächen auf keramischen und polymeren Komponenten beteiligt.

Wärmepumpen sind ein zentrales Element der Energiewende in Deutschland. Insbesondere für die Versorgung von neu errichteten Einfamilienhäusern stellen sie aktuell den am häufigsten installierten Heizungstyp dar. Die klassische Kompressor-basierte Wärmepumpe weist jedoch eine Reihe von Nachteilen wie die Verwendung potenziell umwelt- oder gesundheitsschädlicher Kältemittel sowie eine erhebliche Geräuschemission auf. Aus diesem Grund haben sich sechs Fraunhofer-Institute – IPM, IKTS, IAP, LBF, IAF und FEP – im Leitprojekt EIKaWe zusammengeschlossen, um einer neuen Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Es handelt sich hierbei um elektrokalorische Wärmepumpen auf der Basis von keramischen oder polymeren Materialien, die elektrische Energie direkt in Wärmeenergie umwandeln können.

In dem zu Grunde liegenden Prinzip des Wärmetransports verdampft bzw. kondensiert das Arbeitsfluid an den aktiven Oberflächen periodisch, um Wärme aufzunehmen oder abzugeben. Je schneller dieser Prozess abläuft, desto leistungsfähiger ist die Pumpe. Insbesondere für polymere Materialien mit ihrer wasserabweisenden (hydrophoben) Oberfläche ist es jedoch schwer, eine schnelle vollständige Benetzung der Komponenten mit einem dünnen Flüssigkeitsfilm zu realisieren. Den Durchbruch brachte hier eine Form der Plasmabehandlung im Vakuum, bei der die Oberfläche eines Polymers mit energiereichen Sauerstoff-Ionen beschossen und gleichzeitig eine dünne, offenporige Schicht aus Titan-Silizium-Oxid abgetrennt wird. Im Ergebnis entsteht eine Nanostruktur, die eine vollflächige Benetzung der Oberfläche (Superhydrophilie) ermöglicht. Der Effekt ist langzeitstabil (Monate bis Jahre) und benötigt keine Reaktivierung.

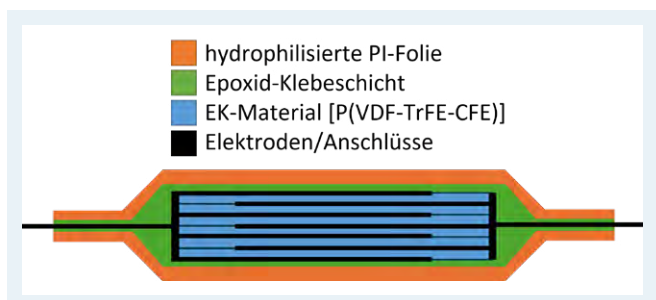
Da die begrenzte thermische Belastbarkeit des elektrokalorischen Materials eine direkte Plasmabehandlung verbietet,



Polymere EK-Komponente

wurde ein alternativer Ansatz gewählt: die Strukturierung einer thermisch beständigen Verkapselungsfolie und die anschließende Vereinigung dieser Folie mit dem elektrokalorischen Material zu einer einsatzfähigen Komponente.

Für die Verwendung in Polymer-basierten elektrokalorischen Wärmepumpen wurden 12,5 µm dünne Polyimidfolien am Fraunhofer FEP nach dem beschriebenen Verfahren behandelt und anschließend am Fraunhofer IAP auf vorprozessierte Mehrlagen-Stapel aus elektrokalorisch aktivem Terpolymer auflaminiert. Durchgeführte Tests bewiesen eine zufriedenstellende Funktion der fertigen Komponenten. Aktuell werden diese zu Demonstrator-Baugruppen zusammengefügt, welche die Leistungsfähigkeit der entstandenen Technologie nachweisen und für die Akquisition neuer Projekte dienen sollen.



Schematischer Querschnitt einer polymeren EK-Komponente

Bakterien als Materialproduzenten: Elektronenstrahl-unterstützte mikrobielle Herstellung von biogenem Kalkstein

Kontakt: Dr. Ulla König | Telefon +49 351 2586-360 | ulla.koenig@fep.fraunhofer.de

Die wachsende Nachfrage nach klimaneutralen Baustoffen erfordert neue Herstellungsverfahren. Im Projekt DeCaBio wird an innovativen Elektronenstrahl-unterstützten Prozessen zur gesteigerten biogenen Kalksteinsynthese geforscht, um die Dekarbonisierung der Zementindustrie zu unterstützen.

Aufgrund wachsender Anforderungen hinsichtlich nachhaltiger und ressourcenschonender Prozesse zur Erreichung der Klimaziele wächst auch in der Bauindustrie der Bedarf nach biobasierten Substitutionsprozessen. Zement, das weltweit meistproduzierte Material, ist als Bindemittel unverzichtbar, wobei die gegenwärtige Herstellung hohe Treibhausgasemissionen verursacht. Die Dekarbonisierung der Zementindustrie ist deshalb eine vielversprechende Strategie, wodurch zukünftig CO₂-arme biobasierte Baustoffe entwickelt werden können.

Mikroorganismen sind überall und beeinflussen die Umwelt der Erde seit über 3,5 Milliarden Jahren. Neben Zersetzungs- und Abbauprozessen sind spezifische Mikroorganismen auch in der Lage, durch Photosynthese Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu binden und anschließend in stabile Kalksteinablagerungen umzuwandeln. Die mikrobielle Synthese von biogenem Kalkstein hat viele Vorteile und das Potential, durch Integration in Industrieprozesse die Umweltbelastung gegenüber herkömmlichen Herstellungsverfahren erheblich zu reduzieren.

An dieser Stelle setzt das interne bilaterale Fraunhofer-Projekt DeCaBio an, welches in Kooperation der Gruppe Biokompatible Materialien des Fraunhofer FEP mit der Abteilung Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling des Fraunhofer IBP bearbeitet wird. Um zukünftig den CO₂-Fußabdruck von Zementformulierungen weiter reduzieren und fossilen Kalkstein als primäre Ressource Schritt für Schritt ersetzen zu können, fokussiert sich das Projekt DeCaBio auf die gesteigerte biogene Erzeugung von klimapositivem Kalkstein mithilfe von phototropen Mikroorganismen, den Cyanobakterien. Im Rahmen des Projektes wird die dosisabhängige biopositive Wirkung von niederenergetischen, nicht-thermischen Elektronenstrahlprozessen auf die Stoffwechselfvorgänge von phototropen Mikroorganismen erschlossen, um die Kalksteinsynthese



REM-Aufnahme der Kristallstruktur von biogenem Kalkstein (CaCO₃)

in seiner Effektivität und Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Der mikrobielle Herstellungsprozess umfasst mehrere Reaktions-schritte und geschieht in der Regel, wenn Cyanobakterien in einer angepassten Umgebung mit überschüssigem Calcium-Ionen (Ca²⁺) und CO₂ (Kohlendioxid) wachsen. Der gewonnene biogene Kalkstein kann dann als Füller für Beton bzw. als Zementzumahlstoff für Kompositzemente genutzt werden. Für eine hohe Nachhaltigkeit im Sinne der verfahrenstechnischen Zirkularität sollen durch Upcycling Bauschuttfraktionen und Lebensmittelabfälle als Calciumquellen wieder- bzw. weiterverwendet werden, um zusätzlich ressourcenschonende Kreislaufprozesse etablieren zu können.

Bereich Plasma

Charakteristisch für den Bereich Plasmatechnologie sind drei Entwicklungsrichtungen:

- Rolle-zu-Rolle Verfahren für flexible Materialien, wie z. B. die Beschichtung von Kunststofffolien oder ultradünnem Glas
- Beschichtung von großflächigen, flachen oder schwach gekrümmten Materialien, wie z. B. optische Schichten auf Glas- oder Kunststoffplatten
- Schichten für optische oder elektronische Anwendungen, z. B. Halbleiter auf Silizium-Wafern

Diese Entwicklungsrichtungen beruhen auf den Oberflächen- und Dünnschichttechnologien des Fraunhofer FEP, wie z. B. dem Magnetronputtern, der Elektronenstrahltechnologie oder der plasmagestützten Verdampfung. Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Aufgabe, die Verfahren an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung anzupassen, einerseits hinsichtlich Schicht- und Oberflächenfunktion, andererseits hinsichtlich der Produktionskosten.

Für die Entwicklungsarbeit steht uns ein Anlagenpark von Laboranlagen bis hin zu industrienahen Anlagen zur Verfügung.

Die Entwicklungsarbeit für die Kunden geht mehrere Wege: Entwicklung des Grundprozesses, Pilotierung des Prozesses durch Demonstratoren und Pilotproduktion, Überführung des Prozesses an die Anlagen des Kunden. Die Überführung der Technologie ist oft verbunden mit von uns entwickelten passgenauen Schlüsselkomponenten.



Biomimetische Oberflächen – Rolle-zu-Rolle-Strukturierung mittels Nano-Imprint-Lithografie und Elektronenstrahlvernetzung

Kontakt: Dr. Steffen Günther | Telefon +49 351 2586-137 | steffen.guenther@fep.fraunhofer.de

Inspiziert von der Natur haben wir die Rolle-zu-Rolle-Nano-Imprint-Lithografie entwickelt, um einzigartige Oberflächen auf diverse Materialien zu übertragen. Unsere Technologie ermöglicht großflächige, hochauflösende Strukturen und deckt Anwendungen von Photovoltaik bis zu medizinischen Systemen ab.

Inspiziert von der Natur – von Pfirsichhaut über Schmetterlingsflügel bis hin zu Lotosblättern – haben wir uns der Herausforderung gestellt, deren einzigartige Oberflächeneigenschaften auf andere Materialien zu übertragen. Dies gelang uns durch die Entwicklung der Rolle-zu-Rolle-Nano-Imprint-Lithografie (NIL) in Kombination mit Elektronenstrahlvernetzung.

Dieses Verfahren nutzt spezielle Lackformulierungen, die mittels Slot-die-Beschichtung auf flexible Substrate aufgetragen, durch eine Matrize kontinuierlich geformt und zeitgleich vernetzt werden. Dadurch werden großflächige Strukturen mit Auflösungen von Millimetern bis zu wenigen Nanometern auf Substrate, wie Polymere, Papier und Textilien bis hin zu Metallen und metallbeschichteten Folien übertragen. Ermöglicht wurden diese Innovationen durch Förderprojekte wie Convert2Green, Design-PV und FlexFunction2Sustain, die sich auf dekorativ-haptische Strukturen auf Photovoltaik-Modulen und spiegelungsfreie Oberflächen von PKW-Displays konzentrieren. Im Projekt PERSEUS richten wir unseren Blick in die Zukunft, mit dem Ziel, optische Schichten zur Effizienzsteigerung von Perovskit-Solarzellen zu entwickeln.

Der Schlüssel zu unserer Technologie ist die Elektronenstrahlvernetzung, die innerhalb von Millisekunden stattfindet. Unsere Anlage, die atmoFlex 1250, sorgt dabei mit einer Materialbreite von bis zu 1250 mm und Geschwindigkeiten bis zu 100 m/min für eine hohe Produktivität.

Die Anwendungsfelder sind breit gefächert: Sie umfassen Fresnel-Strukturen zur Lichtbündelung in der Photovoltaik, dekorative Oberflächen für Fassaden, Anti-Fouling-Strukturen für maritime Anwendungen, Anti-Glare-Oberflächen für



Lederstruktur, hergestellt mittels NIL-Technologie auf einer PET-Folie

Displays, haptische Strukturen für Möbel, strömungsoptimierte Oberflächen für Wasserfahrzeuge und Mikrofluidik-Strukturen für medizinische Lab-on-Chip-Systeme.

Wir bieten umfassende Beratung zur Strukturierung, Matrizenauswahl, Lackformulierung und Strukturdesign. Darüber hinaus forschen wir auf dem Gebiet der Matrizenherstellung mittels 3D-Druck und deren Oberflächenmodifikation. Neben punktuellen Strukturuntersuchungen mittels WLI und REM nutzen wir unsere eigene Rolle-zu-Rolle-Inspektionsanlage WILMA für eine 100 % Oberflächenanalyse NIL-strukturierter Substrate.

*Gefördert durch die Europäische Union
Förderkennzeichen: 101092347, 101147547, 862156*

*Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Förderkennzeichen: 03EN1084A*

Antipathogene Polymerfolien für Touchscreens

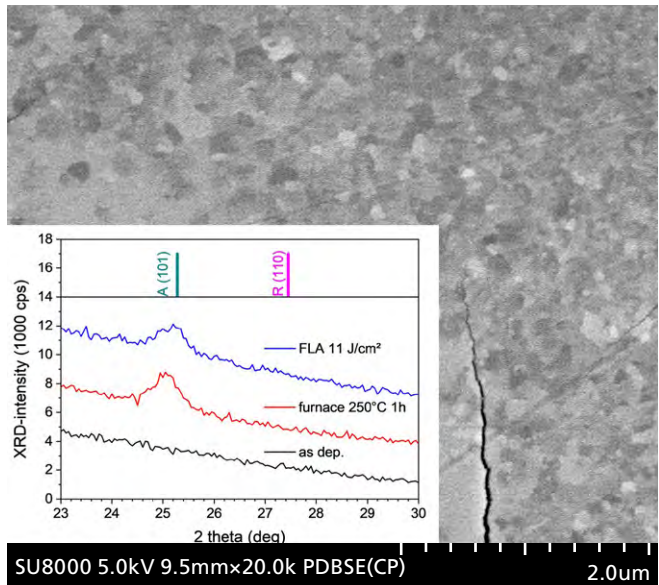
Kontakt: Thomas Preußner | Telefon +49 351 2586-126 | thomas.preussner@fep.fraunhofer.de

Krankenhauskeime auf Oberflächen verursachen häufig Infektionen. Ziel des Projektes "SanFlex" ist es, derartige Krankenhauskeime durch antipathogene Beschichtungen von flexiblen Substraten zum Einsatz in Touchscreens und Displays zu verringern. Diese Beschichtungen basieren auf kristallinen TiO_2 -Dünnschichten mit einer supersauren Oberfläche.

Jährlich erkranken in Europa rund vier Millionen Menschen an gesundheitssystembedingten Infektionen durch Krankenhauskeime¹. Krankheitserreger verteilen sich unter anderem schnell über Oberflächen wie Handläufe, Klinken oder Touchscreens. Um die Ausbreitung von Krankheitserregern, insbesondere in Krankenhäusern aber auch in öffentlichen Gebäuden, zu verringern, wird im EU-geförderten Gemeinschaftsprojekt SanFlex an einer photokatalytischen Titandioxid-Beschichtung geforscht, die zusätzlich mit einer supersauren Oberfläche versehen ist.

Perspektivisch soll die Beschichtung auf Schutzfolien für Bedienoberflächen, wie Touchscreens, zum Einsatz kommen. Dabei besteht die besondere Herausforderung, die für die Funktionalisierung notwendigen anatas-kristallinen TiO_2 -Schichten auf flexiblen Substraten herzustellen. Dazu verfolgt das Fraunhofer FEP den Ansatz die Schichten mittels eines etablierten Großflächen-inline-Magnetronsputterprozesses im amorphen Zustand abzuscheiden und durch einen nachgelagerten Tempersschritt mittels Großflächeninline-Flash-Lamp-Annealing (FLA) zu kristallisieren. Auf den somit hergestellten kristallinen TiO_2 -Beschichtungen werden über einen Photo-fixationsschritt anorganische Säuregruppen an der Oberfläche angelagert, wodurch die Oberfläche supersauer wird. Die Oberfläche verhindert die Anhaftung von Krankheitserregern und tötet zudem auch Mikroorganismen ab.

Der Prinzipnachweis wurde auf starren Glassubstraten realisiert. Hier wurde der Zusammenhang zwischen der Schichtabscheidung, des Kristallisationsprozesses mittels FLA und der Anlagerung der Säuregruppen studiert. Die untersuchten Prozessschritte zeichnen sich durch eine Inline-Fähigkeit aus, was perspektivisch den Herstellungsprozess in einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren ermöglicht. Basierend auf den erzielten



Rasterelektronen-Mikrograph einer kristallinen TiO_2 -Dünnschicht auf temperaturstabiler Polymerfolie, hergestellt durch inline-Magnetron-Sputtering und Flash-Lamp-Annealing. Inlay: Röntgen-diffraktogramme der TiO_2 -Schicht nach Magnetron-Abscheidung (schwarze Kurve, röntgenamorph), nach Ofen-Temperung (rote Kurve, anatas-kristalline Phase) bzw. nach Flash-Lamp-Annealing (blaue Kurve, anatas-kristalline Phase, zugehörig zum Mikrograph).

Erkenntnissen befindet sich das Projekt nun in der Transferphase von starren auf flexible Substrate. Erste Erfolge zur Kristallisation der TiO_2 -Schichten auf temperaturstabilen Polymerfolien wurden erzielt.

Aktuelle Arbeiten fokussieren sich auf das Verständnis des Zusammenhanges zwischen dem Kristallisationsgrad und des Anlagerungsprozesses. Ebenso ist das thermische Management des Kristallisationsprozesses im Fokus der Untersuchungen.

¹ C. Suetens et al., "Prevalence of healthcare-associated infections, estimated incidence and composite antimicrobial resistance index in acute care hospitals and long-term care facilities: results from two European point prevalence surveys, 2016 to 2017", *Eurosurveillance*, 2018, vol. 23/46.

Neue Generation von Schlüsselkomponenten für die drahtlose, optische und Quantenkommunikation durch abstimmbare ferroelektrische Nitride

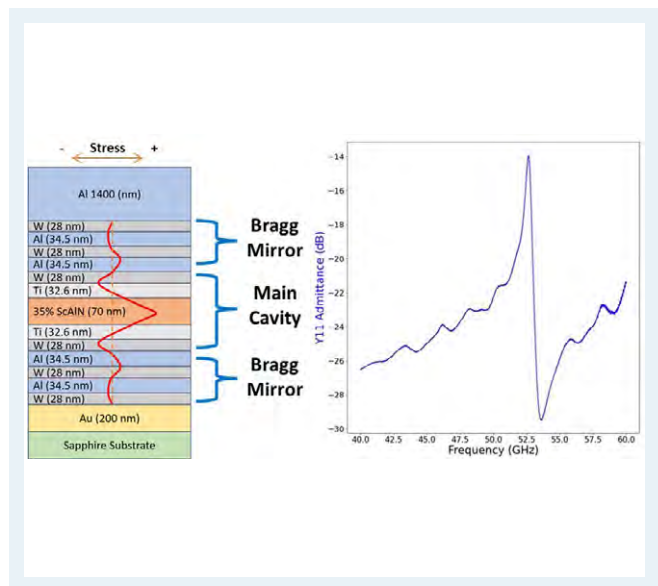
Kontakt: Dr. Hagen Bartzsch | Telefon +49 351 2586-390 | hagen.bartzsch@fep.fraunhofer.de

Im Projekt werden gemeinsam mit den Projektpartnern von der Carnegie Mellon University (CMU) neuartige Hochfrequenzfilter und elektro-optische Wandler entwickelt. Diese basieren auf piezo- und ferroelektrischen Aluminium-Scandium-Nitrid-Schichten, die am Fraunhofer FEP abgeschieden werden.

Grundlage für die angestrebten Bauelemente ist die Entwicklung einer industrietauglichen stabilen und reproduzierbaren Abscheidungstechnologie für piezoelektrische AlScN-Schichten mit guter Dicken- und Zusammensetzungshomogenität über 150 und 200 mm Waferdurchmesser bei hohen Abscheideraten von 3 nm/s. An AlScN-Schichten, die durch reaktives Magnetronspütern von Sputtertargets aus einer AlSc-Legierung mit 35 % Sc-Gehalt abgeschieden wurden, konnte ein effektiver piezoelektrischer Koeffizient $d_{33,f}$ von 12 pm/V gemessen werden. Eine ferroelektrische Polarisierung war bei elektrischen Feldstärken von $\pm 3,8$ MV/cm möglich.

Im Bereich der mobilen Kommunikation erfordern die zunehmend großen Datenmengen den Übergang zu immer höheren Übertragungsfrequenzen. Dazu werden neuartige Konzepte für Bauelemente wie z. B. Frequenzfilter benötigt. Ein Beispiel ist der im Projekt entwickelte, sogenannte Overmoded Bulk Acoustic Resonator. Das Design dieser Resonatoren für Frequenzen von 50 GHz erfolgte beim Partner CMU, die Schichtabscheidung der piezoelektrisch aktiven Schicht sowie des akustischen Resonators am Fraunhofer FEP. Die Prozessierung zu einem Bauelement und die Charakterisierung erfolgte wiederum bei CMU. Es wurde ein kt^2 -Wert von 5,5 % und ein Q-Wert von 108 gemessen. Mit diesen Parametern ist bereits die Anwendung in zukünftigen Bauelementen absehbar.

Photonische Bauelemente basieren zurzeit überwiegend auf Lithiumniobat aufgrund dessen vorteilhafter elektro-optischer Eigenschaften. Dieses Material ist jedoch nicht mit anderen Verfahren der Halbleiterfertigung kompatibel. Ziel ist es, gleichwertige Bauelemente auf der Basis von AlScN herzustellen, das CMOS-kompatibel ist und damit die Integration photonischer Komponenten in mikroelektronische Schaltungen ermöglicht. Ein erster Schritt dazu war die Herstellung und



Aufbau und elektrische Charakterisierung des Frequenzverhaltens des akustischen Resonators für 50 GHz

Charakterisierung von AlScN-Wellenleitern. Es wurde gezeigt, dass die optischen Verluste gering sind (fünffach geringer als beim Stand der Technik), so dass optische Bauelemente auf der Grundlage von AlScN-Wellenleitern realisierbar sind. Weiterhin wurde bereits ein erster funktionsfähiger elektro-optischer Modulator auf Basis von AlScN demonstriert.

Bereich Systeme

Der Bereich Systeme ist der Querschnittsbereich des Fraunhofer FEP und unterstützt die Forschungsarbeit der physikalisch-technologischen Fachbereiche. Dabei entwickeln und fertigen wir technologische Schlüsselkomponenten für die Elektronenstrahltechnologie, für die Sputtertechnologie und für Plasma-Oberflächentechnologien. Diese Schlüsselkomponenten werden sowohl in unseren Versuchsanlagen, als auch im Rahmen von „Integrated Packages“ bei unseren Industriepartnern eingesetzt. Sie sind meist am Markt nicht erhältlich und werden unseren Partnern auf Grundlage kundenspezifischer Anforderungen als maßgeschneiderte Lösung offeriert. Dabei sind wir in der Lage, die komplette Wertschöpfungskette von der Idee, über die Konzeption und Entwicklung, bis hin zur Realisierung von Prototypen bzw. des fertigen Produkts abzubilden.

Zum Entwicklungs- und Fertigungsportfolio gehören neben Plasma- und Elektronenstrahlquellen unterschiedlichster Ausführung auch speziell auf diese Geräte abgestimmte technologische Stromversorgungen und zugehörige analoge bzw. digitale Steuer- und Regelungstechnik. Gerätetechnik zur Fokussierung, Zentrierung und Ablenkung des Elektronenstrahls und gepulste Stromversorgungen mit intelligenter, schneller Arc-Abschaltung zur Steuerung von Atmosphärendruckplasmen runden unsere Entwicklungs- und Fertigungskompetenz ab.



Hvdirect – Hochspannungsversorgung für Elektronenstrahlprozesse

Kontakt: Jens Drechsel | Telefon +49 351 2586-355 | jens.drechsel@fep.fraunhofer.de

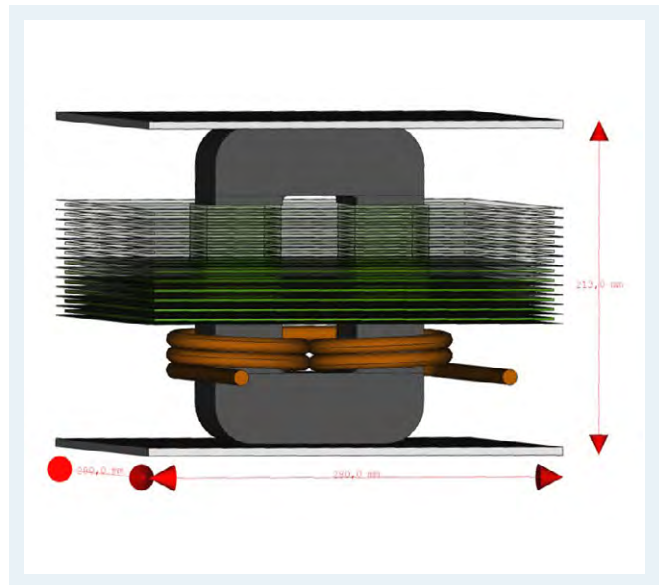
Das Fraunhofer FEP hat eine kompakte, modulare und kostengünstige Hochspannungsversorgung für Elektronenstrahlprozesse entwickelt. Der Prototyp erreicht eine 15-fache Leistungsdichte im Vergleich zu konventionellen Geräten und lässt sich bis 600 kV skalieren.

Elektronenstrahl-Module für innovative Anwendungen und aktuelle technologische Entwicklungsvorhaben des Fraunhofer FEP erfordern eine leistungsstarke, kompakte, flexibel konfigurierbare und kostengünstige Hochspannungstechnik. Kommerziell verfügbare Hochspannungsversorgungen (HSV) erfüllen diese Anforderungen zurzeit nur eingeschränkt.

Zielstellung des Projektes »Hvdirect« war eine modulare HSV zu entwickeln, die für Höchstspannungsanwendungen bis 600 kV konzipiert und in eine Elektronenquelle integrierbar ist. Neben maximaler Kompaktheit ist eine minimale Energiespeicherung im Ausgangskreis der HSV und in den Verbindungselementen zur Elektronenquelle erforderlich, um von Hochspannungsüberschlägen (Arcs) verursachte Beschädigungen und unerwünschte Prozessunterbrechungen zu reduzieren. Dafür wurden zunächst bekannte HSV-Konzepte auf Tauglichkeit und Optimierungspotenzial geprüft. Als zielführend erwies sich das Konzept des Insulated-Core-Transformers.

Unter Einsatz moderner Simulationswerkzeuge wie FEM gelang die Integration aller Hochspannungskomponenten (Sekundärwicklung des Transformators, Magnetflusskompensation, Gleichrichtung sowie frequenzgenaue Spannungsmessung) direkt auf PCB-Platinen, die je 100 mA @ 10 kV liefern. Die Platinen können als Bausteine, je nach Spannungsbedarf der Anwendung, seriell gestapelt werden. Es wurde ein kompakter, modularer Demonstrator mit 120 kV × 100 mA aufgebaut und mit einem Resonanzwandler ergänzt.

Getestet wurde mithilfe eines ebenfalls realisierten Wasserwiderstands, welcher sich dabei als kostengünstiges, sicheres und für hochdynamische Messungen geeignetes Tool erwiesen hat. Die Robustheit wurde durch optische Signalübertragung, eine präzise und schnelle Leistungsregelung mittels



Aufbau einer Hochspannungsversorgung (HSV) für 120 kV × 100 mA

SiC-Halbleiterschaltern und einer FPGA-Steuerung erzielt. Die so realisierte HSV erreicht eine 15-fache Leistungsdichte im Vergleich zu konventionellen Geräten.

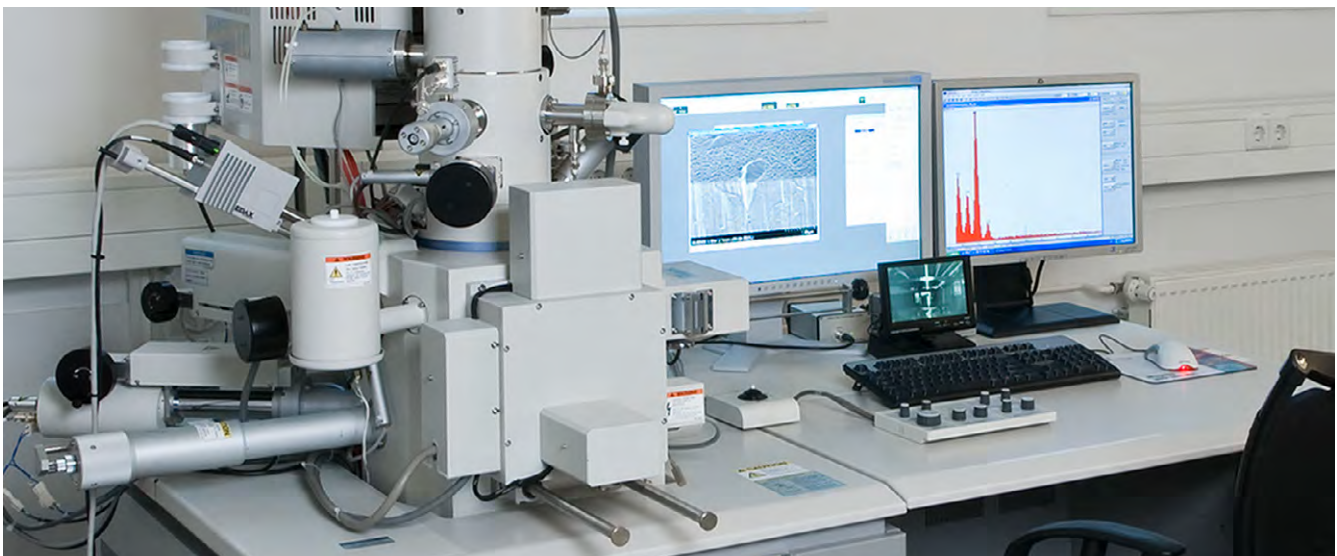
Nach weiteren Praxistests ist die HSV im Niederenergiebereich als eigenständige Systemkomponente einsatzbereit. Das Entwicklungsergebnis wird mit den FEP-Technologien im Rahmen der »Integrated Packages« des Fraunhofer FEP vermarktet.

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-contrast ermöglichen. Die chemische Zusammensetzung wird durch energiedispersive Spektrometrie von Röntgenstrahlung (EDS) und durch optische Glimmentladungsspektrometrie (GD-OES) analysiert.

Für die Bestimmung von optischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften dünner Schichten sind am Fraunhofer 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.



Analysen chemischer Tiefenprofile durch optische Glimmentladungsspektrometrie (GD-OES)

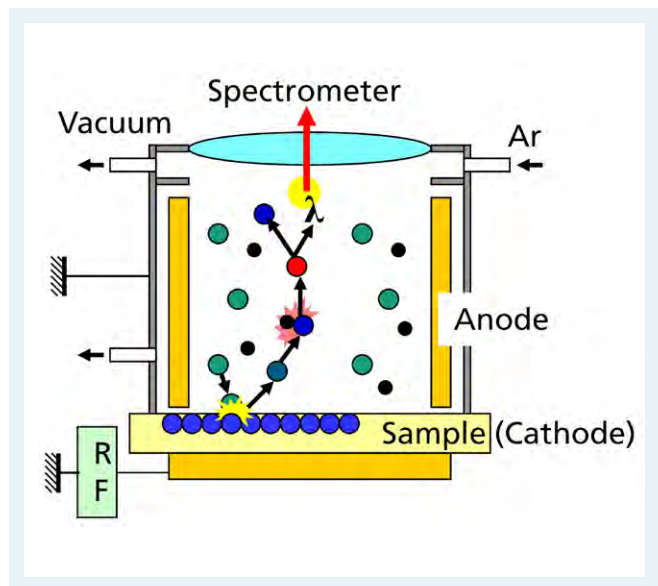
Kontakt: Dr. Olaf Zywitzki | Tel. +49 351 2586-180 | olaf.zywitzki@fep.fraunhofer.de

Die Bestimmung chemischer Tiefenprofile ist für Anwendungen auf dem Gebiet der Optik, Elektronik, Photovoltaik und Batterietechnik von großer Bedeutung. Eine sehr leistungsfähige Methode hinsichtlich Nachweisgrenzen und Tiefenauflösung ist die optische Glimmentladungsspektrometrie.

Die Kombination einer Radio Frequenz Glimmentladung mit optischer Emissionsspektrometrie (RF-GD-OES) ermöglicht die Untersuchung von chemischen Tiefenprofilen an elektrisch leitfähigen als auch an nichtleitfähigen Proben. Für die Analysen wird die Probe als Kathode einer RF Glimmentladung auf einem Spottedurchmesser von 4 mm, Atomlage für Atomlage gesputtert. Gleichzeitig erfolgt im Plasma der Glimmentladung eine Anregung der gesputterten Atome, welche mit einer Emission von optischen Spektrallinien der in der Probe vorhandenen chemischen Elemente verbunden ist. Die Intensität der optischen Emissionslinien wird dann für die verschiedenen chemischen Elemente mit einem Spektrometer als Funktion der Sputterzeit registriert. Aus den gemessenen qualitativen Intensitäts-Sputterzeit-Profilen der Emissionslinien können durch Verwendung von Referenzmaterialien quantitative Konzentrations-Tiefen-Profile berechnet werden.

Der Detektionsbereich der Konzentrationen reicht für viele Elemente von 10 ppm bis zu 100 %. Für glatte Substrate ist eine Tiefenauflösung im Bereich von wenigen Nanometer möglich. Es kann die Intensität der optischen Emissionslinien von 45 chemischen Elementen einschließlich Wasserstoff simultan registriert werden. Durch die Verwendung einer gepulsten RF-Entladung können auch temperaturempfindliche Proben wie z. B. beschichtete Polymerfolien oder Beschichtungen auf Glassubstraten analysiert werden.

Typische Anwendung am Fraunhofer FEP sind die Analyse der chemischen Zusammensetzung von oxidischen oder nitridischen Schichten für optische und elektronische Anwendungen. Eine weitere wichtige Anwendung sind Analysen von Verunreinigungen an der Grenzfläche zum Substrat, welche einen Einfluss auf die Haftfestigkeit der Beschichtungen haben.



Optische Glimmentladungsspektrometrie (GD-OES)

An Dünnschichtsolarzellen werden GD-OES Analysen verwendet, um Konzentrationsgradienten zu bestimmen, welche die Absorption des Sonnenlichtes beeinflussen. Gleichzeitig können Dotierprofile oder mögliche Verunreinigungen der einzelnen Schichten analysiert werden. Auch für Batterieanwendungen sind GD-OES Analysen sehr interessant, da mit der Methode auch lithiumhaltige Schichten analysiert werden können.

GD-OES Analysen werden am Fraunhofer FEP erfolgreich in verschiedenen Projekten zur Optimierung unserer Beschichtungstechnologien verwendet und auch als externe Dienstleistung angeboten.

Biomedizinischer Laborkomplex

Der biomedizinische Laborkomplex ist eine multimodale Forschungs- und Serviceeinrichtung mit mikrobiologischer, zellbiologischer, bioanalytischer, biotechnologischer und chemischer Ausstattung. Die Elektronenstrahltechnologie gehört zu den Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP und wird seit vielen Jahren für zahlreiche innovative Anwendungen eingesetzt und optimiert. Die nichtthermische Elektronenstrahltechnologie bewirkt eine große Bandbreite chemischer sowie biologischer Reaktionen, die bei Raumtemperatur und Normalatmosphäre, aber auch unter Schutzatmosphäre oder Vakuum stattfinden.

Die Verknüpfung der technologischen Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP mit biologischem Know-How ermöglicht die Entwicklung von biobasierten, umweltfreundlichen Verfahren im Sinne der Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft. Wir erschließen innovative Prozesse und nachhaltige Praktiken, um natürliche Ressourcen effizient zu nutzen.

Das Leistungsspektrum umfasst die Durchführung von Machbarkeitsstudien, wobei wir unsere Kunden von der Konzeptphase bis zur Umsetzung begleiten. Neben der Anwendung standardisierter Methoden rundet die Entwicklung kunden- und projektspezifischer Versuchsaufbauten unter Berücksichtigung bzw. in Anlehnung an aktuelle DIN-Normen das Portfolio ab. Der Laborkomplex erfüllt alle Kriterien, um mit der biologischen Schutzstufe 2 betrieben zu werden. Höhepunkt im Jahr 2024 war der Umzug in das neu eröffnete Forschungszentrum RESET mit modernster Laborausstattung.



Biologie trifft Technik für nachhaltige Verfahren

Kontakt: Prof. Dr. Simone Schopf | Tel. +49 351 2586-205 | simone.schopf@fep.fraunhofer.de

Der Laborkomplex bietet innovative und nachhaltige Lösungen für komplexe Fragestellungen unserer Kunden. Mit einem umfangreichen Methoden- und Gerätespektrum werden interdisziplinäre und industriennahe Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchgeführt.

Im Biomedizinischen Laborkomplex wird unter anderem der Einsatz von Mikroorganismen zur kreislaforientierten Herstellung von Basischemikalien für die chemische, pharmazeutische, Agrar- und Umweltindustrie adressiert. Dabei setzen wir zunehmend auf die Nutzung phototropher Mikroorganismen für CO₂-neutrale und chemikalienfreie Produktionsverfahren. Des Weiteren untersuchen wir elektronenstrahlbehandeltes Saatgut als qualifizierte chemikalienfreie Alternative zum herkömmlichen Saatgutbeizen.

Für die Biomasseproduktion und Optimierung der Produktsynthese im Labormaßstab stehen verschiedenen Bioreaktorsysteme zur Verfügung. Eine Hochskalierung auf den 50-Liter-Technikumsmaßstab ist möglich. Zur Zellanalyse sind verschiedene Nachweissysteme zur Beurteilung der Viabilität, Proliferation, Differenzierung und des Membranpotenzials etabliert. Wir präparieren verschiedene Gewebe und können diese mittels Elektronenstrahltechnologie chemikalienfrei modifizieren.

Das Leistungsangebot des Laborkomplexes umfasst u.a.:

- Laboratorien für Mikrobiologie, Zellbiologie, Biotechnologie, Material- und Bioanalytik, Chemie
- Mikroskopie-Pool
- Prüfung der Biokompatibilität und Biofunktionalität von Materialien, Zytotoxizitätsprüfungen
- Zellanalyse: Beurteilung von Viabilität, Proliferation, Differenzierung, Änderungen in Zellzahl, Zellzyklus und Membranpotenzial
- Sterilitätsnachweis und Bioburden test
- Mikro- und zellbiologische Analysesysteme z. B. zur Aufnahme von Wachstumskurven
- Biotechnologische Prozesskontrolle
- DNA- und Proteinanalytik
- Material- und Oberflächenanalytik



Entwicklung einer innovativen Bioreaktorkleinanlage mit integrierter niederenergetischer Elektronenstrahlquelle als Demonstrator

In einem von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekt (SME BiolntElekt, Förderkennzeichen: 601 015) stand die Entwicklung eines Demonstrators aus einer niederenergetischen Elektronenstrahlquelle in Verbindung mit einem gerührten Laborbioreaktor im Mittelpunkt. Mit der Entwicklung des Demonstrators zielte das Projekt auf die Verknüpfung von Elektronenstrahltechnologie und Biotechnologie, um ein Verfahren zur effizienteren Umsetzung biotechnologischer Prozesse in Flüssigkeiten zu entwickeln. Dies wurde am Beispiel der mikrobiellen Erzlaugung (Biolaugung) demonstriert, bei der spezielle eisen- und säureliebende Bakterien eingesetzt werden, um Metalle aus ihren unlöslichen Erzen in wasserlösliche Salze umzuwandeln. Dadurch können die Metalle aus dem Erz herausgelöst werden. Ziel war es, eine biopositive, stimulierende Wirkung niedriger Dosen von niederenergetischen Elektronen bei der Biolaugung von Kupfererz nachzuweisen.

Im Projekt konnte der Nachweis der stimulierenden Wirkung niederenergetischer Elektronen auf Bakterien bei der Biolaugung erbracht werden. Damit kann das Verfahren im nächsten Schritt über Machbarkeitsstudien an verschiedene biotechnologische Anwendungen angepasst werden.

Anhang

| | |
|---------------------------------------------|----|
| Die Fraunhofer-Gesellschaft | 43 |
| Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces | 44 |
| Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung | 45 |
| Mitgliedschaften | 46 |
| Lehrveranstaltungen | 47 |
| Abschlussarbeiten | 48 |
| Veröffentlichungen | 49 |
| Schutzrechte | 50 |
| Highlights | 51 |
| Veranstaltungen | 52 |
| Impressum | 53 |



Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung, der sich in drei Finanzierungssäulen gliedert: Einen Anteil davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und aus Lizenz-erträgen, die sich auf insgesamt 836 Mio. € belaufen. Der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen ist das Fraunhofer-Allein-stellungsmerkmal in der deutschen Forschungslandschaft. Ein weiterer Teil aus dem Bereich Vertragsforschung stammt aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Bund und Länder komplettieren die Vertragsforschung durch die Grundfinanzierung. Damit ermöglichen die Zuwendungsgeber, dass die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft relevant werden.

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 32 000 Mitarbeitende
- 3,4 Milliarden Euro Forschungsvolumen jährlich



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

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

 www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung

Der Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung bündelt die Kompetenzen von 9 verschiedenen Fraunhofer-Instituten auf dem Gebiet der industriellen Oberflächenreinigung und bietet damit ein sehr breites Spektrum an technologischer Kompetenz und Branchenbezug. Durch einen eigenen Web-Auftritt, regelmäßige Newsletter und Social-Media-Aktivitäten, sowie als fachlicher Partner der internationalen Leitmesse parts2clean erzielt er eine hohe internationale Reichweite.

Der Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung leistet einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung und industriellen Nutzung von Reinigungstechnologien. Vor allem klein- und mittelständische, aber auch Großunternehmen, erfahren eine kompetente Unterstützung. Sie profitieren von den umfassenden Kompetenzen auf dem Gebiet der analytischen sowie der experimentellen Entwicklung von Reinigungsverfahren und -prozessen und von Analysemethoden und Verfahren der Prozessüberwachung und Qualitätssicherung.

Unterschiedliche Weiterbildungsformate, von Spezialseminaren einzelner Mitgliedsinstitute bis zur IHK-geprüften Aufstiegsqualifikation, sind dabei eine wesentliche, ergänzende Säule des Wissenstransfers.

Aktuell befindet sich die Geschäftsstelle am Fraunhofer FEP. Als gewählter Sprecher fungiert Frank-Holm Rögner.



Geschäftsstelle

Fraunhofer-Institut für
Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Telefon +49 351 2586-242

 www.reinigung.fraunhofer.de

Mitgliedschaften

- AK Glasig-kristalline Multifunktionswerkstoffe
www.ak-gkm.bam.de
- AMA Fachverband für Sensorik e. V.
www.ama-sensorik.de
- biosaxony e. V.
www.biosaxony.com
- BioZ – Biobasierte Innovationen aus Zeit und Mittel-
deutschland
www.bio-z.de
- Building 3D e. V.
<http://building-3d.de>
- Bundesverband Der Mittelstand BVMW e. V.
www.bvmw.de
- Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik
www.dgao.de
- Deutsche Glastechnische Gesellschaft
www.hvg-dgg.de/home/dgg.html
- Deutscher Industrie-Reinigungs-Verband
www.dirv.org
- DIN Normungsausschuss Reinigung und Sauberkeit von
metallischen Bauteilen im Herstellprozess
www.din.de
- Dresden-concept e. V.
www.dresden-concept.de
- Energy Saxony e. V.
www.energy-saxony.net
- Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V.
www.efds.org
- European Sustainable Nanotechnology solutions Association
www.esna-assoc.eu
- Fachverband für Mikrotechnik IVAM
www.ivam.de
- Fachverband industrielle Teilereinigung FiT
www.fit-online.de
- Forschungsallianz Kulturerbe
www.forschungsallianz-kulturerbe.de
- Fraunhofer Academy
www.academy.fraunhofer.de
- Fraunhofer Geschäftsbereich Reinigung
www.reinigung.fraunhofer.de
- Fraunhofer Netzwerk Smart Farming
www.fraunhofer.de
- Fraunhofer Smart Maintenance Community
bei Fraunhofer-Allianz Produktion
www.produktion.fraunhofer.de
- Fraunhofer-Allianz Batterien
www.batterien.fraunhofer.de
- Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
www.light-and-surfaces.fraunhofer.de
- Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik
www.mikroelektronik.fraunhofer.de
- Fraunhofer Wasserstoff-Netzwerk
www.fraunhofer.de
- FutureSax Sächsisches Transfernetzwerk
www.futuresax.de/transfer/saechsisches-transfernetzwerk
- HZwo e. V.
www.hzwo.eu
- Informationsdienst Wissenschaft
www.idw-online.de
- Innovationsnetzwerk Forum MedTech Pharma
bei Bayern Innovativ GmbH
www.medtech-pharma.de
- Innovationsnetzwerk CleanHand
www.cleanhand.de
- Innovationsnetzwerk DekubiTel
www.dekubitel.de
- International Council for Coatings on Glass ICCG e. V.
www.iccg.eu
- International Irradiation Association
www.iiglobal.com
- KIC CCI – ICE-Konsortium Innovation by Creative Economy
www.ice-germany.de
- Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e. V.
www.inplas.de
- Kompetenznetz Plasma Germany
www.plasma-germany.org
- Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sa/Thü e. V. LRT
www.lrt-sachsen-thueringen.de
- Netzwerk »Dresden – Stadt der Wissenschaften«
www.dresden.de
- R2RNet
www.r2r-net.eu
- SenSa Sensorik Sachsen
www.sensorik-sachsen.de
- Silicon Saxony e. V.
www.silicon-saxony.de
- Space2Health
www.space2health.eu
- VDE Verband der Elektrotechnik – Bezirksverein Dresden e. V.
www.vde-dresden.de
- VDMA Organic Electronics Association (OE-A)
www.oe-a.org
- Verband Deutsches Reisemanagement e. V. (VDR)
www.vdr-service.de/der-verband/der-vdr

Lehrveranstaltungen



Prof. Dr. Elizabeth von Hauff

Technische Universität Dresden

Plasma Technology



Prof. Dr. Gösta Mattausch

Westsächsische Hochschule Zwickau

Herstellung und Eigenschaften von Nanostrukturen und Nanoschichten



Frank-Holm Rögner

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Konservierung und Restaurierung 3:
Historische Verfahren und aktuelle Entwicklungen



Dr. Stefan Saager

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Elektronen- und Laserstrahltechnik



Prof. Dr. Simone Schopf

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Environmental Biotechnologies

Biologische Verfahren der Biomasse- und Abfallbehandlung



Abschlussarbeiten

Dissertationen

| Autor/in | Titel | Hochschule |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| J. Szelwica | Roll-to-Roll sputtering of thermochromic VO ₂ -based coatings onto ultrathin flexible glass | Technische Universität Dresden |

Masterarbeiten

| Autor/in | Titel | Hochschule |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| E. Kutschke | Entwicklung eines recycelbaren Monomaterials für flexible Verpackungen durch elektroneninduzierte Modifikation | Hochschule Mittweida |
| L. Elfeld | Funktionalisierte Poly(2-oxazoline) für die Oberflächenbeschichtung | Technische Universität Dresden |

Bachelorarbeiten

| Autor/in | Titel | Hochschule |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| P. Saavedra | Einfluss der Reaktivgaszusammensetzung auf die Schichteigenschaften von piezoelektrischen AlScN-Dünnschichten beim Puls-Magnetronspütern | Technische Universität Dresden |
| U. Witzgall | Untersuchungen zur Validierung der Simulationssoftware Virtual Coater mit Hilfe von Daten eines Sputterprozesses | Hochschule Coburg |

Veröffentlichungen



Unsere Publikationen im Bereich der Elektronenstrahl- und Plasmatechnik bieten umfassende Einblicke in aktuelle Entwicklungen, technologische Innovationen und industrielle Anwendungen. Sie behandeln u.a. Themen wie Präzisionsbearbeitung, Materialmodifikation, Oberflächenbehandlung und Beschichtungstechnologien.

Eine aktuelle Übersicht unserer Publikationen finden Sie unter:

 www.fep.fraunhofer.de/publikationen

Schutzrechte

| Patentnummer | Titel | Erfinder /-in | Anmeldung | Erteilung |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| DE 10 2022 114 434 B4 | Ringförmige Vorrichtung zum Erzeugen von beschleunigten Elektronen | G. Mattausch, B. Meyer, H. Flaske, B. Zimmermann, R. Blüthner, J. Kubusch, L. Dincklage, L. Lorenz, S. Dominok, M. Top | 08.06.2022 | 11.01.2024 |
| US 11,918,979 B2 | Method for activating a photocatalytically active outer layer deposited on a composite | G. Gotzmann, U. Vogel, D. Glöß, J. Schönfelder, P. Wartenberg | 27.01.2021 | 05.03.2024 |
| JP 7446818 B2 | Multi-Layer Functional Film and Production Method thereof | J. Fahlteich, N. Prager, M. Fahland, O. Zywitzki, V. von Morgen, R. Eveson | 26.12.2019 | 11.03.2024 |
| JP 7431843 B2 | Method for increasing the strength of a glass substrate | J. Westphalen, W. Langgemach, M. Junghähnel, T. Preußner | 13.08.2021 | 15.02.2024 |
| US 12,005,515 B2 | Method for Smoothing a Component Surface Region | B. Graffel, F. Winckler, S. Fritzsche, B. Kieback, B. Klöden, T. Weißgärber | 01.03.2021 | 11.06.2024 |
| EP 4 214 348 B1 | Vorrichtung und Verfahren zum Abscheiden harter Kohlenstoffschichten | B. Scheffel, M. Tenbusch, S. Saager | 16.09.2021 | 03.07.2024 |
| EP 3 468 622 B1 | Verfahren zum Beaufschlagen einer Flüssigkeit mit beschleunigten Elektronen | J. Schönfelder, F.-H. Rögner, J. Portillo, J. Kubusch | 08.06.2017 | 30.10.2024 |
| DE 102023 109 753 B3 | Vorrichtung zum Beaufschlagen von Schüttgut mit beschleunigten Elektronen | S. Weiss, R. Blüthner, H. Flaske, B. Zimmermann, J. Kubusch, G. Mattausch, B. Meyer, M. Top, F. Schade, F. Winckler, M. Herzog, T. Weicht, E. von Hauff, T. Teichmann | 18.04.2023 | 02.10.2024 |
| CN 112789349 B | Method for stimulating the growth of biomass in a liquid inside a bioreactor | G. Gotzmann, A. Weidauer, V. Kirchhoff, C. Wetzel, J. Kubusch, J. Schönfelder | 01.04.2021 | 25.10.2024 |
| CN 113840731 B | Method for smoothing a component surface region | F. Winckler, B. Graffel, S. Fritzsche, B. Klöden, B. Kieback, T. Weißgärber | 12.03.2021 | 25.10.2024 |

Highlights



Besuch aus dem Bundes- und Landtag: Thomas Jarzombek, Dr. Markus Reichel und Dr. Frank Kromer im Fraunhofer FEP



Prof. Holger Hanselka, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, zu Besuch am Fraunhofer FEP im Rahmen der Dialogtour



Eröffnungszereemonie der Koordinationsstelle »K-FAST – Korea Fraunhofer Office of Science and Technology« in Berlin



Elisabeth Ewen, Vorstandin der Fraunhofer-Gesellschaft bei der Ehrung von Daniel Wohlfarth als bester Auszubildender



Feierliche Eröffnung des Fraunhofer Forschungszentrums RESSourcenschonende Energie-Technologien (RESET)



Industrieworkshop »The Future of Sustainable Packaging«










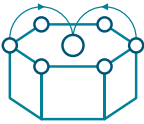






Gewinn des »Hans Pulker Awards« auf der International Conference on Coatings on Glass and Plastics



Teilnahme am 5 km Firmenlauf »REWE Team Challenge«

Veranstaltungen

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>SPIE. Photonics West</p> <p>San Francisco, USA 27.01. – 01.02.2024</p> |  | <p>PSE 2024</p> <p>Erfurt, Deutschland 02.09. – 05.09.2024</p> |
|  | <p>SPIE. AR VR MR</p> <p>San Francisco, USA 29.01. – 31.01.2024</p> |  <p>FACHVERBAND INDUSTRIELLE TEILEREINIGUNG E.V.</p> | <p>32. Fachtagung Industrielle Teilereinigung</p> <p>Dresden, Deutschland 11.09. – 12.09.2024</p> |
|  | <p>Girls' Day</p> <p>Dresden, Deutschland 25.04.2024</p> |  | <p>Smart Farming Netzwerktreffen</p> <p>Dresden, Deutschland 16.09. – 17.09.2024</p> |
|  | <p>67th Annual SVC TechCon</p> <p>Chicago, USA 06.05. – 09.05.2024</p> |  <p>INTERNATIONAL TRADE FAIR FOR GLASS PRODUCTION • PROCESSING • PRODUCTS</p> | <p>glasstec</p> <p>Düsseldorf, Deutschland 22.10. – 25.10.2024</p> |
|  | <p>HZwo Workshop</p> <p>Dresden, Deutschland 16.05.2024</p> |  <p>IWMSE International Workshop on Magnetron Sputter Epitaxy</p> | <p>IWMSE</p> <p>Dresden, Deutschland 29.10.2024</p> |
|  | <p>Manufacturing World</p> <p>Tokio, Japan 19.06. – 21.06.2024</p> |  | <p>Elmia Subcontractor</p> <p>Jönköping, Schweden 12.11. – 14.11.2024</p> |
|  | <p>ICCG 14</p> <p>Dresden, Deutschland 24.06. – 26.06.2024</p> |  | <p>Micro-Optics Summit</p> <p>Amsterdam, Niederlande 02.12. – 03.12.2024</p> |

Impressum

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Telefon +49 351 2586-0

info@fep.fraunhofer.de
www.fep.fraunhofer.de

Ansprechpartnerin

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

Redaktion

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

Layout/Satz

Finn Hoyer

Bildnachweis

Amatveev / shutterstock (S. 16)
Birgit Held / Pexels (S. 49)
Finn Hoyer (S. 11, 20L, 39, 51)
Fraunhofer FEP (Titelbild, 7R, 8L, 18, 21L, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 51)
Fraunhofer-Gesellschaft (S. 43, 51)
insta_photos / shutterstock (S. 22)
istockphoto/fhgfep (S. 19R, 20R, 45)
Jan Hosan (S. 24)
Janek Wiczorek (S. 21R, 37)
Jürgen Lösel (S. 40, 44)
Ronald Bonß (S. 5, 7L, 9, 10, 47, 51)
Sarunyu_foto / shutterstock (S. 17L)
Steve Mann / shutterstock (S. 19L)
Thomas Ernsting (S. 17R)
Till Schuster (S. 4, 6, 42)



Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer FEP | März 2025



www.fep.fraunhofer.de

EVOLUTION OF SURFACE AND LIGHT.