

Im Fokus dieses Schwerpunktes stehen innovative Verfahren für die Fertigung, aber auch optische Systeme und die Nano- und Mikrotechnologien. Außerdem ist die Entwicklung neuer, anwendungsspezifischer Werkstoffe ein wesentliches Element in diesem Bereich.

TECHNOLOGIEN UND WERKSTOFFE

Fertigungstechnologien

Die Fertigungstechnologien an der Ernst-Abbe-Hochschule sind ein sehr industrienaher Forschungsbereich. Zentrale Aufgabenstellung ist zum einen die **Werkstoffbearbeitung mittels Laser**: Markieren, Abtragen, Schweißen und Schneiden. Durch den Einsatz von Laserstrahlung können ganz neue Anwendungsgebiete erschlossen werden, insbesondere bei der Wahl des Materials. Zum anderen ist die **Werkzeug- und Zerspantechnik** ein Forschungsgebiet an der EAH. Hier liegen Erfahrungen zur optimalen Gestaltung von Werkzeugen und Technologien mittels Simulation und Experiment vor.

Lasermaterialbearbeitung

Die Weiterentwicklung von Werkstoffen in Wissenschaft und Industrie stellt wachsende Anforderungen an deren Bearbeitung. Konventionelle Verfahren stoßen hier häufig an ihre Grenzen oder sind gar nicht mehr einsetzbar. Das Erforschen von Wechselwirkungsprozessen zwischen dem Material und der Laserstrahlung steht im Fokus der Untersuchungen.

Durch die Verwendung von **Ultrakurzpuls (UKP) Laserstrahlung**, das heißt mit Pulsdauern von weniger als 10 Pikosekunden, sind (nahezu) alle Werkstoffe bearbeitbar. Durch diese kurzen Pulse wird ein Aufheiz-effekt des Grundmaterials während des Abtragprozesses weitestgehend verhindert. Daher treten ungewollte thermische Effekte, wie beispielsweise Schmelzerscheinungen oder Verfärbungen nicht auf. Das steigert die erreichbare Präzision und die Qualität des Abtrags im Vergleich zur Bearbeitung mit längeren Pulsdauern oder im kontinuierlichen Laserbetrieb.

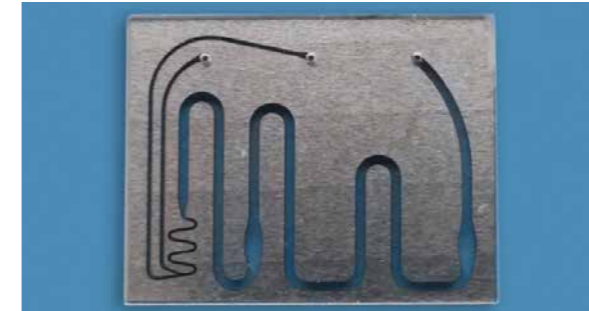
Spezifikationen

- » Maximale Strukturiefen von mehreren Millimetern
- » Minimale Strukturweiten bis zu 20 µm
- » Oberflächen mit Rauheiten $R_q \geq 0,2 \mu\text{m}$
- » Formgenauigkeit $< 25 \mu\text{m}$
- » Abtragsraten bis zu 20 mm³/min
- » Anwendbarkeit des Verfahrens bei Metallen, Kunststoffen und hartspröden Materialien

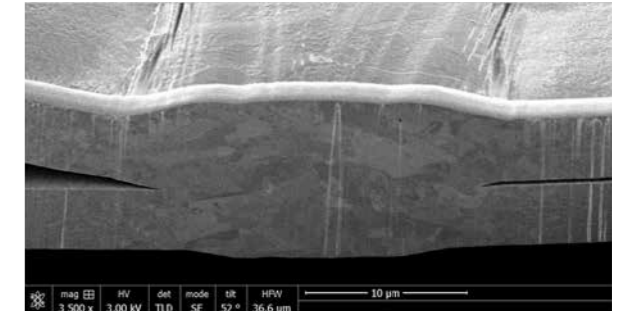
Mit dem **Laserstrahl-Mikroschweißen** kann man auch bei geringen Materialstärken stoffschlüssige und prozesssichere Mikrofugeverbindungen realisieren. Gerade dort ist es schwierig thermisch induzierte Verformung zu vermeiden und eine sichere Verbindung zu gewährleisten. Mit der lokal stark begrenzten Energiezufuhr durch einen Laser und einer angepassten Prozessführung kann dem mit dem Laserstrahl-Mikroschweißen begegnet werden. Mit der Entwicklung einer entsprechenden Spannvorrichtung können mit diesem Verfahren Materialstärken von bis zu 5 µm im sogenannten Nahtschweißen verbunden werden. Für das Mikroschweißen sind aufgrund des minimalen Energieeintrages nahezu alle Stähle sowie eisenfreie Metalle und Legierungen geeignet.

Spezifikationen

- » Materialstärken bis zu 5 µm
- » Geeignet für Stähle und Nichteisenmetalle
- » Hohe Prozesseffizienz & -sicherheit
- » Artgleiche und artfremde Verbindungen



Mikrofluidikchip mit CrNi-Insert (Foto: EAH/AG Bliedtner)



FIB-Präparation einer Schweißverbindung von 5 µm starken Stahlfolien (Foto: EAH/AG Bliedtner)

Das **Beschriften oder Markieren mittels Laserstrahl** besitzt besonders im industriellen Einsatz eine große Bedeutung. Mit Hilfe des Lasers wird eine fälschungssichere, abriebfeste und dauerhafte Markierung erreicht, die mit konventionellen Mitteln nicht realisierbar wäre. In Abhängigkeit von Material, Strahlungsquelle und Prozessführung bewirkt das Verfahren einen Farbumschlag an der Bauteiloberfläche oder einen Materialabtrag.

Auch das Einschreiben ins Innere transparenter Werkstoffe ist durchführbar. 2D- und 3D-Beschriftungssysteme ermöglichen sowohl die Beschriftung von ebenen Formen als auch von Freiformflächen. An der EAH wird die Wirkung verschiedener Strahlungsquelle auf das Material und die Eigenschaften der entstehenden Markierung untersucht. Damit können auch neue Einsatzbereiche für das Laserstrahl-Beschriften erschlossen werden.



Glasmarkierung mit UKP (Foto: EAH/AG Bliedtner)



Anlassfarbenmarkierung auf Titan (Foto: EAH/AG Bliedtner)

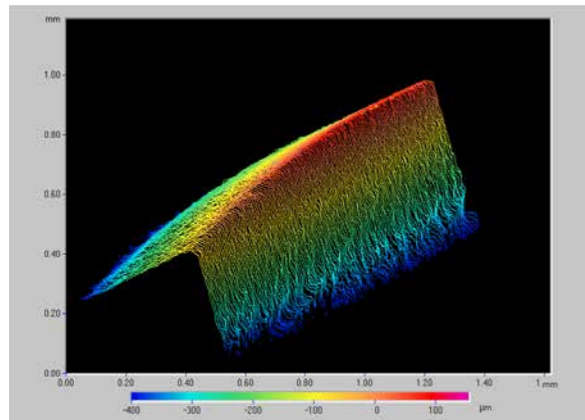
Spezifikationen

- » Strahlungsquellen: Festkörper-, Gas- und Diodenlaser, insbesondere auch Ultrakurzpuls laser
- » Materialien: Metall, Glas, Keramik, Kunststoff, Holz, Leder, u.a.
- » 2D- und 3D-Oberflächen
- » Gravur, Farbumschlag, Innenmarkierungen und Anlassfarben möglich
- » Mikro- bis Makrobauteile bearbeitbar
- » Bearbeitung ab Losgröße 1

Werkzeug- und Zerspantechnik

Auf dem Gebiet der Werkzeug- und Zerspantechnik werden Möglichkeiten zur optimalen Gestaltung von Werkzeugen und Technologien für konkrete Bearbeitungsaufgaben untersucht.

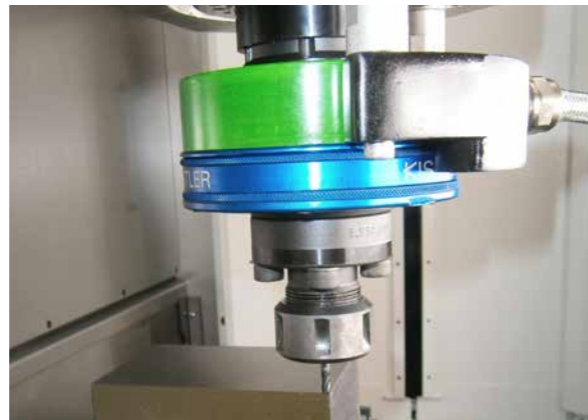
Um den experimentellen Aufwand einzugrenzen, kommt zur Vorausberechnung optimaler Konfigurationen und Parameter Simulationssoftware zur Anwendung. Erfahrungen liegen diesbezüglich mit der Modellierung von Zerspanvorgängen mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) und Computational Fluid Dynamics (CFD) vor. Die Validierung der Ergebnisse



Messprotokoll zur Beurteilung der Schneidengeometrie, Messgerät: MikroCAD Premium (GFM) (Bild: EAH/AG Patz)

sowie die genaue Abstimmung der Komponenten des Wirksystems erfolgen dann mittels Experiment. Zur Beurteilung des Fertigungsergebnisses werden relevante werkzeug- und werkstückseitige sowie prozessbegleitende Kenngrößen erfasst und ausgewertet.

Verfahrensseitig können in die Untersuchungen das Drehen, das Bohren und das Fräsen einbezogen werden. Auf dem Gebiet des FräSENS wurden bisher vor allem Lösungen für den Einsatz im Werkzeug- und Formenbau erarbeitet. Hierbei lag der Schwerpunkt auf der Optimierung von Werkzeugen.



Versuchsaufbau zur Messung der Komponenten der Zerspankraft beim FräSEN, Messgerät: Rotierendes Schnittkraftdynamometer (KISTLER) (Foto: EAH/AG Patz)

Spezifikationen

- » 3-Achs-CNC- und 5-Achs-CNC-HSC-Bearbeitung
- » Spindeldrehzahlen bis zu 28.000 min⁻¹ beim FräSEN
- » Beschleunigung der Vorschubachsen bis zu 2 g
- » maximal bearbeitbarer Bauraum von 450 mm x 600 mm x 200 mm beim FräSEN
- » Spindeldrehzahlen bis zu 3750 min⁻¹ beim Drehen
- » maximal bearbeitbare Werkstücklänge von 1095 mm und maximal bearbeitbarer Werkstückdurchmesser von 400 mm beim Drehen
- » Erfassung von Kraftkomponenten bis zu ± 10 kN
- » Erfassung von Beschleunigungen bis zu ± 5 g

Ausstattung

Lasermaterialbearbeitung

- » CO₂-Laser Rofin DC 020 Slablaser
- » UKP-Laser Trumpf TruMicro 5050
- » UKP-Laser Amplitude Satsuma HP2
- » 5-Achs-Laseranlage Trumpf TruLaser Cell 3000
- » Beschriftungslaser Keyence 30W 3D
- » Roboterzelle
- » Faserlaser SPI
- » Rofin 1,5 kW Faserlaser

Werkzeug- und Zerspantechnik

- » CNC-Dreh- und Frästechnik
- » Gleitschleifanlage
- » Messmikroskop
- » Form- und Rauheitsmessgerät
- » Schneidkantenmessgerät
- » Kraft- und Schwingungsmesstechnik
- » Simulationssoftware: DEFORM® 2D/3D, MSC Marc, LS-Dyna, ANSYS® Fluent

Kontakt Lasermaterialbearbeitung

Prof. Dr. Jens Bliedtner

Telefon +49 (03641) 205-444

E-Mail jens.bliedtner@eah-jena.de

Kontakt Werkzeug- und Zerspantechnik

Prof. Dr.-Ing. Marlies Patz

Telefon +49 (03641) 205-306

E-Mail marlies.patz@eah-jena.de

Optiktechnologien und optische Systeme

Im Forschungsbereich „Optiktechnologien und optische Systeme“ wird das Thema Optik aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Zum einen entwickeln und erproben wir neue **optische Systeme** im Bereich der Mikrooptik. Diese eröffnen neue Möglichkeiten in Forschungs- und Entwicklungsaufgaben. Darüber hinaus werden an der Hochschule **Technologien zur Herstellung hochpräziser Optiken** untersucht. Dabei kommen Ultraschall- und Lasertechnologien zum Einsatz.

Optische Systeme – Mikrooptiken

Die Mikrooptik bietet ein hohes Potential, um in einer Vielzahl von optischen Instrumenten Systemeigenschaften und Funktionalitäten zu erreichen die ohne sie nicht möglich wären. Die Anwendungsbreite reicht dabei von komplexen und anspruchsvollen ‚high-performance‘-Systemen wie sie z.B. in der Medizintechnik, der Lasermaterialbearbeitung oder der Lithografie genutzt werden, bis hin zu ‚high-volume‘-Systemen für Display- oder Beleuchtungsanwendungen in der Automobilbranche. Um in diesem Umfeld Wissenschafts-

und Industriepartnern Lösungen anbieten zu können ist es notwendig die essentiellen Umsetzungskompetenzen und -technologien zu beherrschen. Hier bieten wir eine durchgehende Prozesskette an, um vielfältige Forschungs- und Entwicklungsaufgaben bearbeiten zu können. Die Arbeiten an der Ernst-Abbe-Hochschule umfassen die Systemkonzeption, das Optik-Design und die Mechanik-Konstruktion, die gesamte Systemumsetzung und Integration, sowie Funktionsnachweise und Anwendungstests.

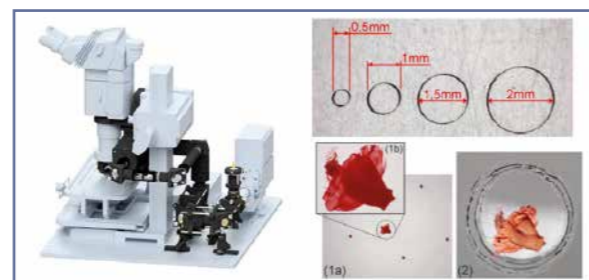


Unsere Kompetenzen entlang der Prozesskette

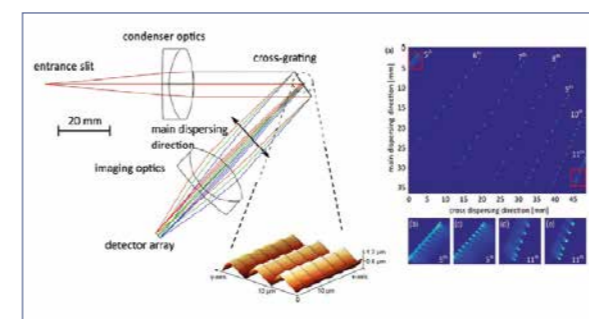
Anwendungsbeispiele:

Maßgeschneiderte und variable Lichtverteilung:

Für eine Anwendung zur Spurensicherung in der Forensik wurde in Kooperation mit einem industriellen Kunden ein ‚Laserstanz‘-System entwickelt, mit dem es möglich ist, aus Klebefolien, an ausgewählten Stellen, kreisförmige Bereiche unterschiedlicher Größe zu extrahieren. Zur einfachen Handhabung wurde das Laserstanzsystem in einem Mikroskop integriert.



Laserstanzen (Bilder: EAH/AG Brunner)



Kreuz-Echelle-Spektrometer (Bilder: EAH/AG Brunner)

Kreuzgitter-Spektrometer:

In der optischen Spektroskopie ist gegenwärtig eine Verlagerung der Anwendungsschwerpunkte zu beobachten. Während bisher der wesentliche Fokus in der ‚high-end‘-Forschung und bei der Nutzung in Laboren lag, wird der Einsatz zur industriellen Prozesskontrolle und für Feldanwendungen immer wichtiger. Besonders stark steigt der Bedarf nach spektroskopischen Lösungen in der Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie. Um die mit diesen Anwendungsfeldern verbundenen Systemspezifikationen erfüllen zu können, ist es notwendig, Ansätze von ‚high-end‘- mit Kompaktspektrometern zu verbinden. Es gelang, einen vollkommen neuen Ansatz eines ‚Kreuzgitter‘-Spektrometers zu entwickeln und umzusetzen. Im Vergleich bietet dieser Ansatz sowohl eine hohe spektrale Auflösung als auch eine große Bandbreite des zugänglichen Wellenlängenbereichs und ermöglicht gleichzeitig eine sehr kompakte Bauweise.

Reaktives Ionenstrahlätzen:

Das reaktive Ionenstrahlätzen (Reactive Ion Beam Etching - RIBE) ist ein sogenannter Trockenätzprozess der die Vorteile unterschiedlicher reaktiver, chemischer Ätzprozesse mit denen des physikalischen Ionenstrahlätzens verbindet. Für die Übertragung von lithografisch hergestellten polymeren Mikrostrukturen in harte Substratmaterialien wie Quarz oder optisches Glas bietet die RIBE Technologie Vorteile bezüglich der einstellbaren Richtungsabhängigkeit und Selektivität.

Direktes Laserstrahl Schreiben:

Die direkt schreibende Laser-Lithografie ist ein sehr flexibles Verfahren, mit dem unterschiedlichste mikrooptische Strukturen direkt auf das entsprechende Substrat übertragen werden können. Dabei wird ein hochfokussierter Laserspot zeilenweise über das mit lichtempfindlichen Fotolack bedeckte Substrat geführt und gleichzeitig kann die Intensität des Laserstrahls moduliert werden. Mit dem direkten Laserstrahlreiber lassen sich verschiedene refraktive und diffraktive mikrooptische Strukturen herstellen, beispielsweise Computer generierte Hologramme (CGHs), Mikrolinsen-Arrays, statistische Diffusoren oder abbildende diffraktive Elemente.

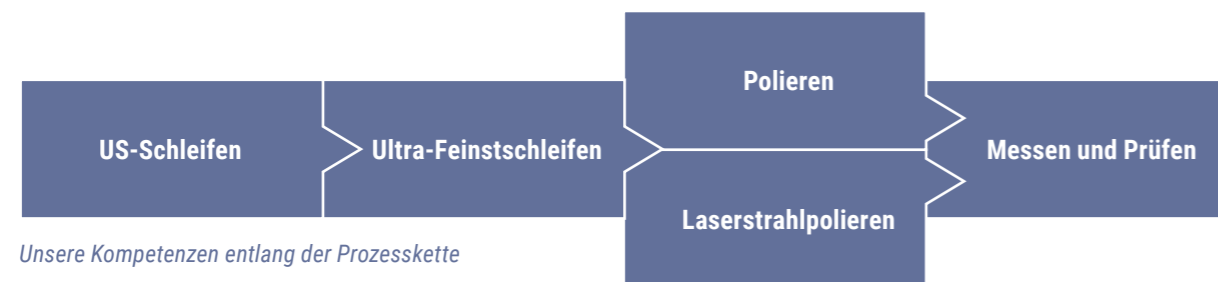
Ausstattung

- » Reinraum mit ca. 120 qm Fläche
- » kombiniertes Konfokalmikroskop und Weißlichtinterferometer (MarSurf CWM 100)
- » Anlage zum direkten Laserstrahl schreiben (DWL 200 FF)
- » Optisches 3D-Profilometer (Zygo NewView 9000)
- » RIBE-Anlage (RIBE, Reactive Ion Beam Etching) (NTG RIBE 215)
- » Schichtdickenmessgerät Sentech FTPadv-RM1000
- » 2x Mask Aligner MA6 (Süss MicroTec)
- » Unterstützende Technologien: u.a. Spin-Coater, Öfen, Entwicklung, nass-chemisches Ätzen
- » Anlage zur Interferenz-Lithografie und Talbot-Lithografie

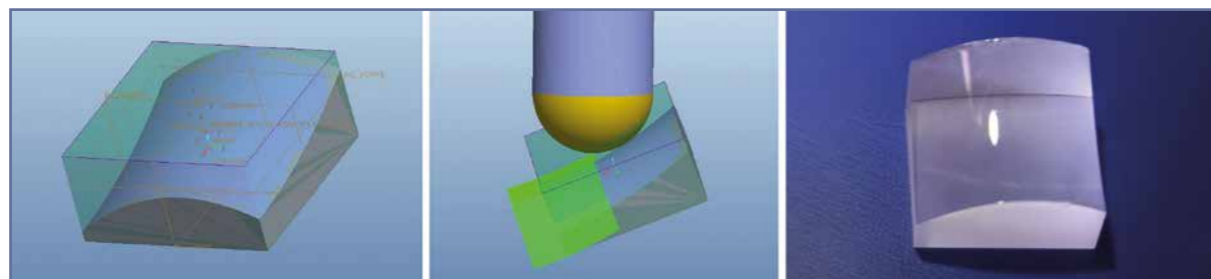
Optiktechnologien – Herstellung hochpräziser Optiken

Optiken in hochpräzisen Systemen erfordern eine sehr gute Qualität der optischen Flächen. Bei optisch relevanten Materialien, wie z. B. Glas und Kristall, ist das mit einem hohen Fertigungsaufwand verbunden.

Mit Polieren und Schleifen sollen transparente, möglichst fehlerfreie Oberflächen erzielt werden. Wir entwickeln spezielle Verfahren zur Realisierung solcher Oberflächen.



Anwendungsbeispiele:



Bearbeitungsergebnisse nach den drei Prozessstufen. a) Formgebung/Vorschleifen, b) Ultrafeinst-Schleifen, c) Laserstrahlpolitur (Quelle: *Optik & Photonik*, Vol. 13, Bliedtner et al.)

Ultraschallunterstütztes Schleifen:

Das ultraschallunterstützte Schleifen ist ein Sonderverfahren, bei dem der kreisenden Werkzeugbewegung aus dem konventionellen Schleifen zusätzlich eine hochfrequente, longitudinal oszillierende Bewegung überlagert wird. Dabei hat die Bewegung eine Amplitude von wenigen Mikrometern und eine Frequenz im Ultraschallbereich (20 - 30,5 kHz). Die kinematische Überlagerung beider Bewegungen bewirkt eine erhöhte Schnittgeschwindigkeit. Das ist besonders bei der Bearbeitung sprödharter Materialien, wie Gläsern oder Keramiken von Vorteil. Durch die geringe Schnittkraft, die bei diesem Verfahren nötig ist, reduziert sich außerdem der Werkzeugverschleiß. Durch entsprechende Parameter können wahlweise höhere Bearbeitungsqualitäten oder kürzere Prozesszeiten erreicht werden. Das sorgt für eine höhere Wirtschaftlichkeit als konventionelle Schleifverfahren.

Laserstrahlpolieren von Glasoberflächen:

Das Polieren mittels CO₂-Laser ist ein thermisches Verfahren, bei dem die Energie des Lasers thermisch umgewandelt wird. Durch die Materialerwärmung fängt das Material an, zu fließen. Dabei wird die Oberflächenrauheit aufgrund der Oberflächenspannung der Schmelze geglättet. Rauheitsspitzen werden abgetragen und Profiltiefen aufgefüllt. Mit dem Laserstrahl können so anspruchsvolle Geometrien (z.B. Freiformen), die mechanisch nicht bearbeitbar wären, poliert werden. Die Haupteinsatzgebiete des Verfahrens liegen insbesondere in der Bearbeitung von 2D- und 2½D-Strukturen.

Feinstschleifen silikatischer Materialien:

Die Bearbeitung silikatischer Materialien erfolgt konventionell mit ungebundenem Korn. Das stellt jedoch oft einen zeitaufwändigen und schwer kontrollierbaren Prozess dar. Darin begründet sich das Ziel, solche Schleifprozesse mit gebundenem Korn durchzuführen. Versuche unter Verwendung neuartiger, kunstharz

gebundener Diamant-Werkzeuge zeigen, dass damit Rauheiten um Ra = 10 nm erreichbar sind. Das ist bereits mit konventionell polierten Oberflächen vergleichbar. Die Dauer einer anschließenden Politur ist damit deutlich reduzierbar. Komplexe Geometrien können mittels 5-Achs-Bearbeitung in einer Maschine vor- bis feinstgeschliffen werden.

Ausstattung

- » Ultrasonic 5-Achsbearbeitungszentrum (optische Freiformbearbeitung) Fa. DMG-Sauer
- » Laserstrahlbearbeitungsanlage Fa. Rofin (2 KW)
- » Flach- und Profilschleifmaschine Fa. Ziersch&Baltrusch
- » Poliermaschine HM500.1NC Fa. OptoTech
- » Konventionelle Läpp- und Poliermaschinen
- » Drahtsäge Fa. Meier Burger
- » MarForm MFU 100 Fa. Mahr
- » Inlinemesstechniksystem „Edevis 300“ zur Erfassung von Prozessmessgrößen

Kontakt Optotechnologien

Prof. Dr. Jens Bliedtner

Telefon +49 (03641) 205-444

E-Mail jens.bliedtner@eah-jena.de

Kontakt Optische Systeme

Prof. Dr. Robert Brunner

Telefon +49 (03641) 205-352

E-Mail robert.brunner@eah-jena.de

Mikro- und Nanotechnologie

Kleinste Strukturen stehen im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten im Bereich „Mikro- und Nanotechnologie“. Zum einen findet sich hier die Mikro- und Nanooptik wieder, bei der an der Ernst-Abbe-Hochschule (EAH) unter anderem zu multifokalen Linsen und Optiken im Subwellenlängenbereich geforscht wird. Einen zweiten Schwerpunkt bildet die Halbleitertechnologie. Die Kernkompetenz liegt in der Anwendung von innovativen hochenergetischen Ionenstrahlkonzepten zur Analyse und Modifikation von Leistungshalbleiterbauelementen.

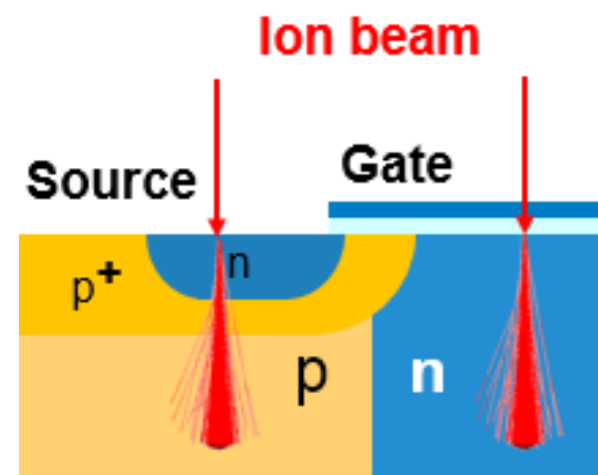
Halbleitertechnologie: Bauelemente, Materialien und Prozesse

Leistungshalbleiterbauelemente aus Silizium und Siliziumkarbid

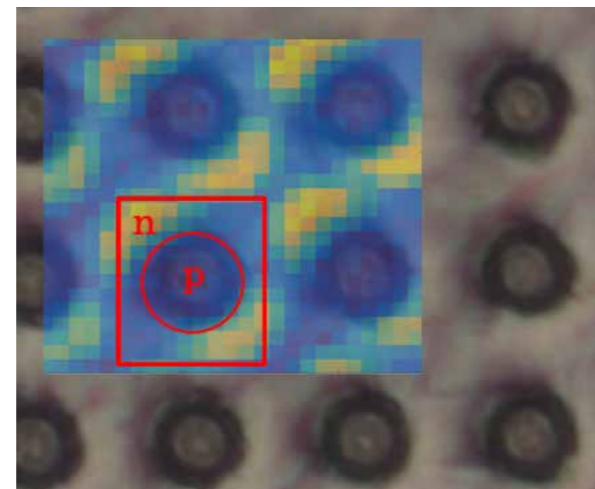
Leistungshalbleiterbauelemente auf Basis von Silizium oder Siliziumkarbid bilden das Rückgrat vieler leistungselektronischer Systeme. Dies gilt für einen weiten Bereich von Anwendungen, der von Traktion (Lokomotiven für Hochgeschwindigkeitszüge) über Umrichter für die Photovoltaik bis hin zu Schaltnetzteilen für den Betrieb von Laptops oder Tablets reicht.

In der AG Rüb stehen insbesondere sogenannte Hochvolt-Superjunction MOSFETs (SJ-MOSFET) aus Silizium oder Siliziumkarbid und Insulated Gate Bipolar Transistoren (IGBT) im Mittelpunkt des Forschungsinteresses.

Kosmische Strahlung aus dem Weltraum kommt auf der Erdoberfläche überwiegend als Neutronen oder Protonen an. Diese Partikelstrahlung kann auf Leistungshalbleiter einwirken und im Falle hoher am Bauelement anliegender Spannungen dieses im Betrieb zerstören. Eine Abschirmung ist aufgrund der hohen Primärenergie der Strahlung nicht denkbar. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der orts aufgelösten Charakterisierung der Empfindlichkeit von Leistungshalbleiterbauelementen auf kosmische Strahlung. Diese so gewonnenen Informationen, Abbildung 1, bilden die Basis für die Weiterentwicklung und Verbesserung des Chipdesigns.



Prinzip der orts aufgelösten Einzelionenbestrahlung zur Simulation kosmischer Strahlung (Bild: EAH/AG Rüb)



Falschfarbendarstellung strahlungssensitiver Gebiete auf einem realen Leistungshalbleiterchip (Bild: EAH/AG Rüb)

Ein Arbeitsgebiet der AG Rüb besteht in der Konzeption neuer Architekturen von Leistungshalbleiterbauelementen, insbesondere SJ-MOSFETs. Darüber hinaus ergänzt die Modellierung von Halbleiterbauelementen die Forschungsarbeiten zur Zuverlässigkeit und der technologischen Weiterentwicklung von Dotierprofilen. In der Arbeitsgruppe stehen hierzu professionelle Simulationstools (Synopsis TCAD) für die nicht kommerzielle Forschung zur Verfügung.

Materialmodifikation durch Ionenimplantation

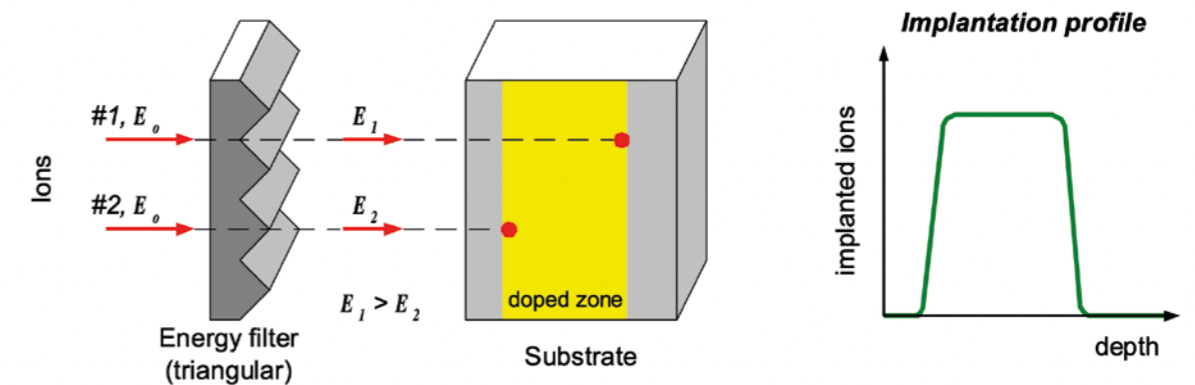
Eine Kernkompetenz der AG Rüb liegt in der Erforschung der Wechselwirkung von hochenergetischen (keV bis MeV) Ionen mit diversen Materialien im Hinblick auf Anwendungen in der Mikrotechnologie, insbesondere für Halbleiterbauelemente und die Mikrooptik.

Es bestehen enge Kooperationen mit den folgenden Beschleunigerlaboren:

- » Ionenstrahlzentrum Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf
- » Rubitec GmbH, Bochum
- » Maier-Leibnitz-Laboratorium der LMU München

In der AG Rüb wurden vor einigen Jahren die Grundlagen für einen neuartigen Prozess, die sogenannte energiegefilterte Ionenimplantation, Abbildung 2, im Rahmen eines BMBF geförderten Projektes erarbeitet. Die Energiefiltertechnologie basiert auf der Anwendung einer dünnen mikrostrukturierten Membran, welche die Energieverteilung eines initial monoenergetischen Ionenstrahls in definierter Weise aufweitet und somit kontinuierliche Tiefendotierprofile auf elegante Art ermöglicht.

Die Leitfähigkeit von Halbleitern kann durch Dotierung mit Fremdatomen technologisch eingestellt werden. Die AG Rüb forscht an der Realisierung neuartiger Dotiermethoden und Dotierprofile für Leistungshalbleiter mittels energiegefilterter Ionenimplantation.



Funktionsprinzip des Energiefilters für Ionenimplantation (Bild: EAH/AG Rüb)

Mikrostrukturierung

Ein Arbeitsfeld der AG Rüb ist außerdem die Entwicklung neuartiger Maskenkonzepte zur Verbesserung der Auflösung und Bildqualität von Abstands- und Kontaktlithographie. Die Arbeitsgruppe verfügt über moderne Lithographiesimulationswerkzeuge, wie etwa Dr. Litho (Fraunhofer IISB Erlangen) und LAB (GenlSys GmbH). Für den Übertrag von Strukturen in Silizium steht ein nasschemisches anisotropes Ätzverfahren im Reinraum der EAH Jena zur Verfügung.

Ein Schwerpunkt der AG Rüb liegt im Design dünner mikrostrukturierter Siliziummembranen zur Anwendung als Energiefilter für Ionenimplantation. Neben der Ausgestaltung der Membrane werden Technologiekonzepte, Prozesssequenzen und Herstellverfahren entwickelt und validiert.

Ausstattung

Reinraum (ca. 120m², Klasse ISO-6 bzw. ISO-7):

- » Fotolithographiestrecke mit SÜSS MA6 Maskaligner, Belacker und Entwickler
- » Bruker DEKTAK XT Oberflächenprofilometer
- » Sentech Weißlichtinterferometer
- » Nasschemische Kaliumhydroxid-Ätzanlage

Labor Dünnschichtabscheidung:

- » Leybold L400 Sputteranlage, DC und rf
- » Heraeus PLS 500 Thermischer Bedampfer

Ausrüstung weiterer Labore:

- » FEUTRON Typ 3433/16 Klimakammer
- » Teledyne LeCroy Waverunner 640ZI, 4GHz Oszilloskop
- » Drahtbonder

Softwaretools:

- » Halbleiterbauelementsimulation: Synopsis TCAD
- » Lithographiesimulation: GenlSys LAB, Fraunhofer Dr. Litho
- » Ätzsimulation: AMTECH SIMODE
- » Ionenimplantationssimulation: SRIM



Reinraum EAH Jena, Belackung, Nasschemie,
Quelle: Stumpf (oben), Guddei (mitte)

SÜSS MA6 Maskaligner im Reinraum,
Quelle: Klein (unten)

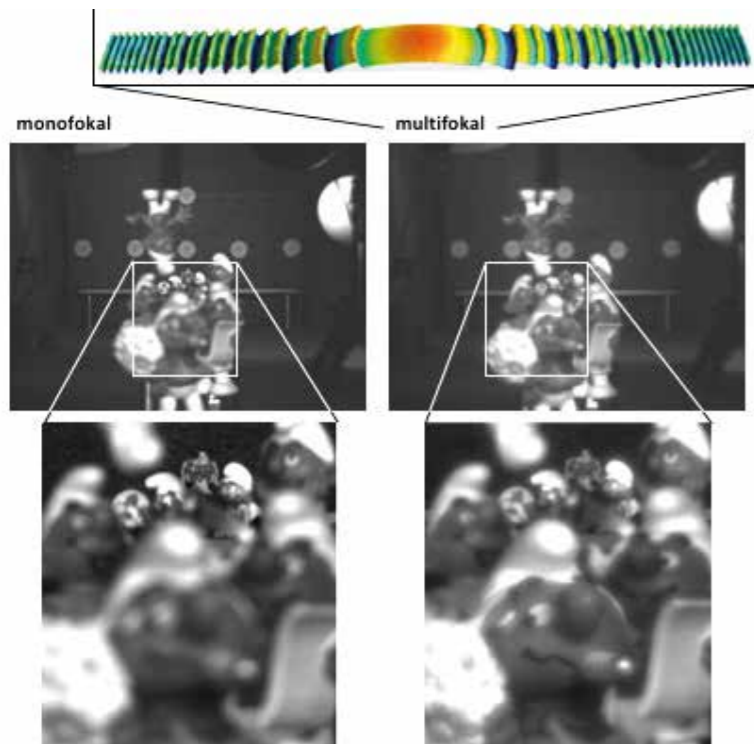


Sputteranlage und Thermischer Bedampfer,
Quelle: Guddei (oben), Klein (mitte, unten).

Mikro- und Nanooptik

Die Präfixe ‚Mikro-‘ und ‚Nano-‘, die hier der ‚Optik‘ vorangestellt sind, weisen nicht auf eine einfache Verkleinerung konventioneller optischer Systeme hin, sondern mit ihnen sind komplett neue Funktionalitäten verbunden die mit klassischen Ansätzen kaum oder nicht erreichbar wären. Das Anwendungsspektrum der Mikrooptik ist extrem breit und umfasst sowohl optische ‚high-end-‘ als auch ‚high-volume-‘-Systeme. Hochgenau angefertigte regelmäßige Arrays und statistisch zufällig angeordnete Mikrolinsen werden z.B. zur Homogenisierung in Beleuchtungssystemen der Halbleiterlithografie genutzt oder zur maßgeschneiderten Strahlformung für die Laser-Augenchirurgie verwendet. In sehr hohen Stückzahlen bilden diffraktive Mikro-Optiken heute die Kernkomponenten von Systemen zur Gesichtserkennung in ‚Smart Phones‘.

Besondere Eigenschaften bieten sogenannte diffraktive abbildende Elemente, die wie klassische Linsen zur Abbildung verwendet werden können, jedoch zusätzlich die Möglichkeit besitzen, verschiedene Entfernungen gleichzeitig scharf abzubilden. Diese ‚Multifokal‘-Linsen werden z.B. auch als künstliche Intraokularlinsen verwendet die Menschen nach Operationen am Grauen Star eingesetzt werden. Abbildung 1 zeigt die Wirkung einer diffraktiven multifokalen Linse im Vergleich zu einer gewöhnlichen monofokalen Linse. Die Aufnahmen der Testszene wurden mit einem Augensimulator durchgeführt der an der EAH entstand. Die vorteilhafte Wirkung der Multifokal-Linse wird besonders bei der Betrachtung des vergrößerten Ausschnitts deutlich (rechts, unten): Sowohl die entfernten Bereiche der Szene als auch die Objekte in der Nähe sind klar aufgelöst. Die Monofokal-Linse dagegen erlaubt nur eine scharfe Wahrnehmung entfernter Objekte (links). Die diffraktive Struktur der Multifokallinse besitzt dabei eine sägezahnförmige Oberflächenstruktur (Abbildung oben).



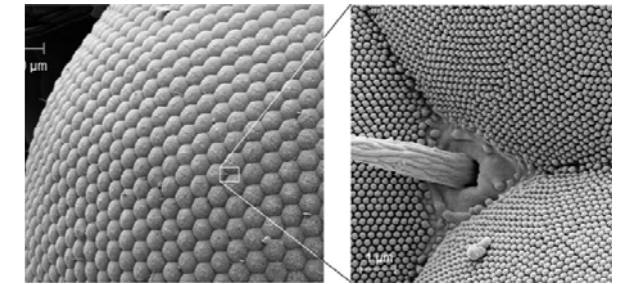
Augensimulator zum Vergleich gewöhnlicher monofokaler Intraokularlinsen (IOL) (links) mit mikrostrukturierten, multifokalen IOLs (rechts). Die mikrostrukturierte IOL fokussiert gleichzeitig auf unterschiedliche Abstände, während die monofokale Linse nur auf eine Entfernung optimiert ist.

Oben, ein Segment aus dem Oberflächenprofil der mikrostrukturierten IOL.

(Bilder: EAH/AG Brunner)

Bei einer weiteren Verkleinerung der Oberflächenstrukturen zu Dimensionen, die kleiner sind als die Wellenlänge des einfallenden Lichts, nehmen die Optiken die Eigenschaften eines ‚effektiven Mediums‘ an. Dessen Brechungsindex liegt zwischen dem des Substrats und des Umgebungsmediums. Solche Subwellenlängen-Strukturen sind auch auf den durchsichtigen Flügeln einiger südamerikanischer Schmetterlinge und auf den Augen nachtaktiver Insekten zu finden, wo sie eine Anti-Reflexwirkung erreichen (siehe Abbildung 2).

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt hier im Design und in der Simulation geeigneter Oberflächenprofile, um eine antireflektierende Wirkung über einen großen Wellenlängenbereich zu ermöglichen. Außerdem wird an der Entwicklung einfacher Verfahren zur Herstellung künstlicher ‚Mottenaugenstrukturen‘ geforscht, um sie für Anwendungen in der technischen Optik nutzbar zu machen.



Facettenauge eines nachtaktiven Falters (‚Motte‘). Bei starker Vergrößerung zeigen sich Strukturen auf der Oberfläche der einzelnen Facetten die Dimensionen aufweisen, die kleiner sind als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Diese Strukturen wirken antireflektierend. (Bilder: EAH/AG Brunner)

Ausstattung

Um eine Vielfalt mikrooptischer Komponenten herstellen zu können, steht im Reinraum der EAH Jena eine durchgehende und flexible Prozesskette zur Verfügung. Neben dem prozesstechnischen Rückgrat (u.a. Belackung, Entwicklung, Tempern) umfasst diese Prozesskette insbesondere unterschiedliche lithografische Verfahren und besondere Trockenätzprozesse:

- » Anlage zur Talbot-Lithografie
- » Aufbau zur Interferenz Lithografie
- » Mask-Aligner Technologie MA6 (Süss MicroTec)
- » Anlage zum direkten Laserstrahlschreiben (DWL 200 FF)
- » Reaktives Ionenstrahlätzen (RIBE: Reactive Ion Beam Etching) (NTG RIBE 215)
- » kombiniertes Konfokalmikroskop und Weißlichtinterferometer (MarSurf CWM 100)
- » Optisches 3D-Profilometer (Zygo NewView 9000)

Kontakt Halbleitertechnologie

Prof. Michael Rüb

Telefon +49 (03641) 205-879

E-Mail michael.rueb@eah-jena.de

Kontakt Mikro- und Nanooptik

Prof. Dr. Robert Brunner

Telefon +49 (03641) 205-352

E-Mail robert.brunner@eah-jena.de

Technologien im Explosionsschutz

Der Explosionsschutz ist ein bedeutsamer Bereich der Sicherheitstechnik mit der Hauptaufgabe, Explosionen zu vermeiden oder ihre gefährlichen Auswirkungen zu begrenzen. Bei einer Vielzahl von Prozessen können aufgrund der eingesetzten Stoffe explosionsfähige Atmosphären in Verbindung mit dem Sauerstoff in der Luft entstehen.

Durch das Hinzuführen einer Zündquelle kann eine bedrohliche Explosion ausgelöst werden. Um diese Gefahr in den betroffenen Bereichen zu reduzieren, existieren verschiedene Maßnahmen zum elektrischen und nicht-elektrischen Explosionsschutz, die stetig mit Hilfe neuer Erkenntnisse weiterentwickelt werden.

Primäres Ziel der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten ist es, neueste Erkenntnisse auf dem Gebiet des Explosionsschutzes in einzelne Produktentwicklungen einfließen zu lassen. Ein wesentlicher Aspekt ist die Vermeidung des Auftretens einer Zündquelle. Zündquellen sind u.a. heiße Oberflächen, mechanisch erzeugte Funken und statische Elektrizität. Die Entstehung dieser möglichen potentiellen Zündquellen soll bereits durch die Konstruktion vermieden werden.

Darüber hinaus können jedoch Verschleißerscheinungen an den Maschinenelementen Zündquellen hervorrufen. Hierbei besteht die Möglichkeit, dass die Art und der Grad des Verschleißes das Auftreten einer Zündquelle wesentlich beeinflussen. In unterschiedlichsten Forschungsprojekten werden diese Aspekte untersucht.



Abbildung 1: Zünddurchschlag an einem Prüfmuster
(Quelle: EAH Jena/PTB)

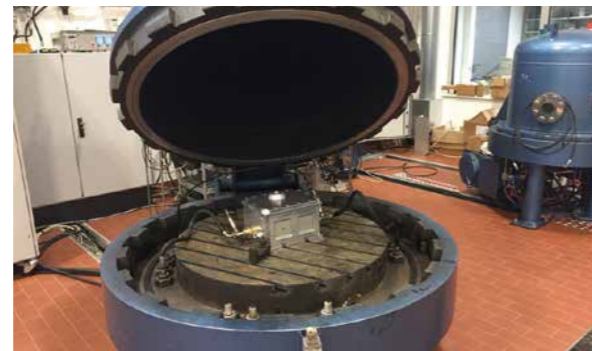


Abbildung 2: Prüfobjekt in Prüfkammer
(Quelle: EAH Jena/PTB/AG Innok)

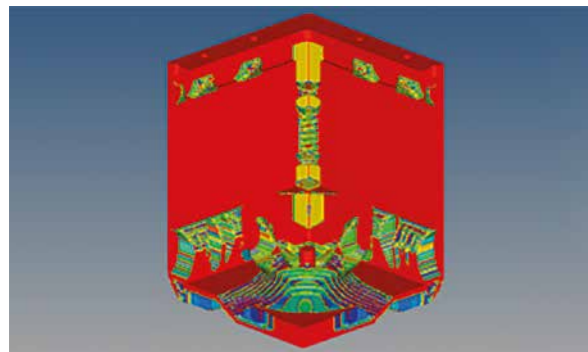
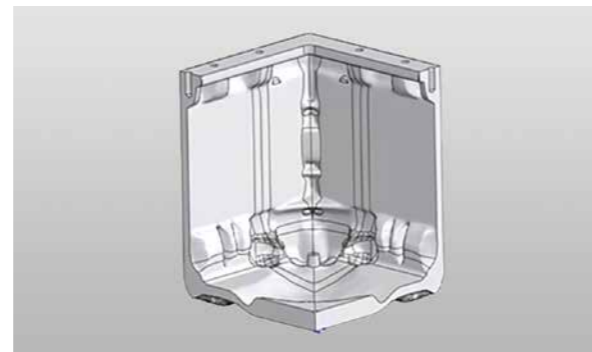


Abbildung 3: Simulation an einem druckfesten Gehäuse (Quelle: EAH Jena/AG Innok)



Aktuelle Themen wie Digitalisierung und Vernetzung stellen besondere Herausforderungen für Produkte im Bereich des Explosionsschutzes dar. Derzeit steht die IT-gestützte Optimierung der Konstruktionsmethodik und des Anlagenbetriebs im nicht-elektrischen Explosionsschutz im Vordergrund der Forschung.

Um die hohen Anforderungen, insbesondere hinsichtlich der Prüftechnik, umsetzen zu können, kooperiert die Arbeitsgruppe der Professur Konstruktion für Wirtschaftsingenieure eng mit der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig auf dem Gebiet der Grundlagenforschung. Durch diese enge Zusammenarbeit ist es möglich, den neuesten Stand der Technik zu nutzen.

Durch die industriennahe Forschungsarbeit im Bereich des Explosionsschutzes und Entwicklungsprojekten im Bereich des Maschinenbaues wird die Konstruktionsmethodik stetig weiterentwickelt. Die Erkenntnisse werden in international erscheinenden Fachbüchern publiziert. Des Weiteren erfolgt aktuell die Integration weiterer Professuren in diesen Forschungsschwerpunkt, um die neuen Themenbereiche im Explosionsschutz interdisziplinär betrachten zu können.

Kompetenzen

- » Grundlagenforschung und Produktentwicklung im Bereich elektrischer und nicht-elektrischer (mechanischer) Explosionsschutz
- » Erfolgreiche Durchführung zahlreicher Industrieprojekte im Bereich des sekundären Explosionsschutzes
- » Erfolgreiche Durchführung von Seminaren im Bereich des Explosionsschutzes für Industrievertreter
- » Problemlösungsorientierte Dienstleistungen durch An-Institut: Steinbeis-Forschungszentrum „Innovationen im Explosionsschutz“
- » Fachtagung zum Thema Explosionsschutz in Kooperation mit der PTB (alle 2 Jahre an EAH)
- » Zahlreiche Publikationen und Beiträge auf nationalen und internationalen Konferenzen



Abbildung 5: Berstdruckprüfstand
(Quelle: EAH Jena/AG Innok)

Ausstattung

In den zwei Laboren (Prüflabor und Simulationslabor) stehen folgende Mess- und Prüfgeräte zur Verfügung:

- » **Berstdruckprüfstand:**
Zur statischen Druckprüfung von Bauteilen bis zu einem Maximaldruck von 100 bar
- » **Schlagprüfstand:**
Zur Schlagprüfung von Bauteilen nach DIN EN 60079-0
- » **Klimakammer:**
Zur Klimalagerung bzw. Klimabeständigkeitsprüfung von Bauteilen in einem Temperaturbereich von -75°C bis 180°C / Feuchtebereich von 10% bis 95% rel. F.
- » **Temperatur-Datenlogger:**
Zur Messung von Temperaturen mithilfe von Thermoelementen bei simultaner Aufzeichnung von bis zu 32 Messkanälen
- » **Spritzwasserprüfstand:**
IP Schutzartprüfung IPx4 bis IPx6 nach DIN EN 60529
- » Zugang zu den Laboren der PTB durch Kooperationsvertrag

Kontakt

Technologien im Explosionsschutz

Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Engelmann

Telefon +49 (03641) 205-925

E-Mail frank.engelmann@eah-jena.de

Konstruktion und Berechnung

Dr.-Ing. Thomas Guthmann

Telefon +49 (03641) 205-844

E-Mail thomas.guthmann@eah-jena.de

Konstruktionsmethodik und Weiterbildung

Dr.-Ing. Sabrina Herbst

Telefon +49 (03641) 205-940

E-Mail sabrina.herbst@eah-jena.de

Additive Fertigungstechnologien

Bei der additiven Fertigung werden Teile im Gegensatz zu traditionellen Fertigungsverfahren nicht subtraktiv aus einem Halbzeug, sondern schichtweise aus einzelnen Schichten aufgebaut. Dabei kann eine hohe Bandbreite von Materialien verwendet werden, wobei diese auf einzelne additive Fertigungsverfahren beschränkt sind. Vorteile dieser Technologien sind neben der schnellen und relativ günstigen Prototypenfertigung die hohe Flexibilität hinsichtlich aufbaubarer Geometrien. Neben den additiven Fertigungsverfahren, welche Kunststoffe oder Metalle verarbeiten können, wird an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena auch der Druck von zellbeladenen Hydrogelen erforscht.



roboter-basierte Auftragschweißanlage
(Bild: EAH, Schorcht)



BioScaffolder 3.2 zur Fertigung zellbeladener Hydrogelstrukturen
(Bild: EAH, AG Prof. Feller)

Additiv-generative Verfahren für Kunststoff, silikatische Werkstoffe und Metalle

Die Nutzung additiver Fertigungsverfahren zur Generierung von Prototypen, Funktionsmustern und Serienbauteilen hat in den vergangenen Jahren mit der Weiterentwicklung der entsprechenden Verfahren stark an Bedeutung gewonnen. Durch diese neuen Verfahren können Produktentstehungsprozesse erheblich beschleunigt werden. Die umfangreiche und moderne Ausstattung zur additiven Bauteilfertigung ermöglicht es, an der EAH Jena Prozessketten vom Erstentwurf bis hin zum fertigen Bauteil zu erproben. Besonders in industrieller Anwendung und Entwicklung ist es von großem Wettbewerbsvorteil, innerhalb kürzester Zeit Funktionsmodelle oder Anschauungsobjekte herzustellen, um ein frühzeitiges Optimieren des Produktes zu ermöglichen. Für Folgeprozesse kommen der Vakuumguss und der Spritzguss für Stückzahlen bis 30 bzw. 1000 zum Einsatz.

Hinsichtlich der Anwendung und Beforschung additiver Technologien hat die Arbeitsgruppe Bliedtner in einer Vielzahl geförderter Verbund- und Kooperationsprojekte wertvolle Erfahrungen gesammelt und Expertise aufgebaut. Derzeitig befassen sich zehn Projektteams mit Aufgabenstellungen in den Gebieten Multimaterialsysteme, Hybridprozesse, Prozessoptimierung, Reparatur und Instandsetzung sowie Medizintechnik. Besondere Kompetenzen besitzt die Arbeitsgruppe in den Verfahren:

- » Fused Deposition Modeling (FDM)®,
- » Material Jetting (Polyjetverfahren),
- » Selektives Lasersintern,
- » Stereolithografie,
- » Laserauftragschweißen.

Derzeitig kommen fünf kommerzielle sowie ein selbstentwickelter Aufbau eines **FDM®-Systems** auf Granulatbasis zur Anwendung. Die Flexibilität des Versuchstandes ermöglicht es, nahezu beliebige Erweiterungen vornehmen zu können und bildet die Grundlage für die in Projekten angestrebten Vorhaben. Durch die Anlagenvielfalt können neben belastbaren Prototypen mit hoher Auflösung auch großvolumige Bauteile gefertigt werden. Ergänzt wird diese Technologie durch vier **Stereolithographiesysteme** zur selektiven und flächenhaften Erzeugung von Bauteilen aus Kunstharz. Neben der Urmodellherstellung für Folgeprozesse (z.B. Vakuumgießen) werden an diesen Maschinen vorrangig Untersuchungen zur Kombination von Werkstoffen durchgeführt (Kunststoffe, Keramiken, Glas). Ein selbstentwickelter Versuchsaufbau trägt dabei maßgeblich zur Entwicklung sogenannter „Hybridprozesse“ bei. Unterstützt werden diese Untersuchungen durch eine vorhandene **Polyjet-Maschine**, welche in der Lage ist Multimaterialbauteile aus Polymeren, durch Aufspritzen feinsten Materialtropfen zu generieren. Anorganische Werkstoffe wie bspw. Quarzglaspulver, kann via **Selektivem Lasersintern** zu 3D-Geometrien verarbeitet werden.

Eine gesonderte Stellung im Bereich der additiven Fertigung nimmt das Laserauftragschweißen an der EAH Jena ein. Der pulver- oder drahtbasierte Prozess stellt ein dreidimensionales additives Fertigungsverfahren dar, um metallische Ausgangsmaterialien lagenweise, vorteilhaft auf Halbzeugen aufzutragen. Sie bietet ein breites Anwendungsfeld zur Herstellung und Reparatur von Bauteilen, gezielte Schichtfunktionalisierung, Erzeugung von Gradientenschichten sowie Konturänderungen an bestehenden Geometrien.

Die roboter-basierte Auftragschweißanlage ermöglicht eine dreidimensionale, richtungsunabhängige und höchst flexible Bearbeitung. Durch eine thermisch angepasste und effiziente Prozessführung gelingt auch das verzugsarme Beschichten von Bauteilen mit wenigen Millimetern Stärke. Der Forschungsschwerpunkt liegt in der Verarbeitung von Stahl- und Aluminiumwerkstoffen im Bereich des Makroauftragschweißens.

Ausstattung

- » Scansysteme zur Digitalisierung von Bauteilen
- » verschiedene FDM-Systeme auf Filament- und Granulatbasis (Klein- Mittel- und Großformatig)
- » Stereolithographiesysteme – Laser- und DLP-basiert
- » Selektive Lasersintersysteme für Kunststoffe, Gläser und Keramiken
- » Robotergeführte Laserauftragschweißanlage – metallische Pulver und Drahtwerkstoffe
- » Vakuumgießanlage
- » Spritzgussmaschine für Kleinserienfertigung
- » Zug-Druck-Universalmaschine für additiv gefertigte Bauteile

Kontakt

Prof. Dr. Jens Bliedtner

Telefon +49 (03641) 205-444

E-Mail jens.bliedtner@eah-jena.de

Michel Layher

Telefon +49 (03641) 205-768

E-Mail michel.layher@eah-jena.de

Bioprinting

In der konventionellen Zellkultur wachsen Zellen als sogenannter Monolayer, wodurch diese nur auf einer lateralen Ebene Kontaktmöglichkeiten haben. Diese 2D-Zellkulturen können dabei aufgrund des fehlenden räumlichen Kontaktes und der begrenzten Kommunikation den in vivo-Zustand nur teilweise abbilden. Mit Hilfe des additiven Fertigungsverfahrens Bioprinting können sogenannte 3D-Zellkulturen anhand von computergenerierten Modellen automatisiert gefertigt werden. Die Zellen werden dabei in ein Hydrogel eingesät, welches als provisorische extrazelluläre Matrix für die Zellen dient, verdrückt und nach dem Fertigungsverfahren quervernetzt. Vorteil dieses Verfahrens ist die lokale Platzierung verschiedener Zelllinien und Materialien in das Konstrukt, wodurch unterschiedliche funktionelle Bereiche entstehen können. Durch den erhöhten Komplexitätsgrad der 3D-Zellkonstrukte könnte in Zukunft möglicherweise eine Substitution der Tierversuche durch zelluläre Testsysteme mit 3D-Kulturen möglich sein.

An der EAH Jena sind Bioprinter vorhanden, welche eine pneumatische Extrusion von bis zu drei unterschiedlichen Materialien sowie der tröpfchenweisen Dosierung von Zusatzstoffen (wie Wachstumsfaktoren) im Picoliter-Bereich ermöglicht. Durch weitere Tools können Kern-Mantel-Konstrukte erstellt oder auch thermoplastische Kunststoffe verarbeitet werden. Zur Bestimmung der optimalen Konzentration der Hydrogelkomponenten werden die rheologischen Eigenschaften zur Untersuchung der Fließfähigkeit des Gels während des Druckprozesses ermittelt. Zusätzlich erfolgen mechanische Prüfungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften des quervernetzten Gels. An der EAH Jena findet dieses Verfahren Anwendung in der Herstellung von 3D-Co-Kulturen in Durchflusssystemen, welche für komplexe biologische Untersuchungen, wie z.B. der Angiogenese von Endothelzellen verwendet werden.



Ohrringmodell aus einem Gelatine/Alginate-Gemisch
(Bild: EAH, AG Prof. Feller)

Technische Ausstattung

- » PolyJet 3D-Drucker Connex 350 – Stratasys
- » Stereolithographieanlage HA 90 – Rapidshape
- » Bioprinter BioScaffolder 3.2 – GeSiM
- » Rheometer MCR 502 – Anton Paar
- » Zugprüfmaschine zwickiLine Z0.5TN – ZwickRoell

Kontakt

Prof. Karl-Heinz Feller

Telefon +49 (03641) 205-621

E-Mail karl-heinz.feller@eah-jena.de

Bastian Böttcher

Telefon +49 (03641) 205-682

E-Mail bastian.boettcher@eah-jena.de

Funktionskeramische Werkstoffe

Funktionskeramiken sind in vielen Bereichen der Technik unverzichtbar. Sie gewährleisten, oft unbemerkt für den Nutzer von Geräten, funktionale Eigenschaften (z.B. elektrische, magnetische, optische Funktionen) von einzelnen Bauelementen, welche zum Betrieb von Komponenten und ganzen Systemen notwendig sind. Damit sind funktionskeramische Werkstoffe aus vielen Bereichen der Technik, wie z.B. Informations- und Kommunikationstechnik, Sensorik, Automotive und Industrie 4.0 nicht wegzudenken.



Funktionskeramische Materialien und Komponenten für die Elektrotechnik, Foto: EAH/AG Töpfer

An der Ernst-Abbe-Hochschule beschäftigen wir uns mit verschiedenen funktionskeramischen Werkstoffsystemen, beginnend bei der chemischen Synthese von feinst- und nanoskaligen Oxidpulvern, über die Optimierung der keramischen Verarbeitungstechnologie, bis hin zu werkstoffwissenschaftlichen Fragen der Zusammenhänge zwischen Zusammensetzung, Kristallstruktur, Defektstruktur, Mikrostruktur und Funktionseigenschaften. Dabei reicht das Spektrum der Themen von grundlegenden Fragestellungen der Festkörperchemie von Oxidsystemen bis hin zu technologischen Problemen elektronischer Bauelemente.

Die Erforschung und Optimierung der Werkstoffe bzw. ihrer Anwendungseigenschaften wird an kompakten Bulkkeramiken, an Multilayer-Bauelementen, oder keramischen Schichten realisiert.

Folgende Funktionswerkstoffe werden in unserer Arbeitsgruppe bearbeitet:

- » Weichferritwerkstoffe für Induktivitäten und Leistungsüberträger
- » Mikrowellenferrite
- » Hartferrit als Werkstoffe für Permanentmagnete
- » Thermoelektrische Oxide und Komponenten
- » Piezoelektrische Werkstoffe
- » Dielektrische und Relaxormaterialien für Kondensatoranwendungen
- » Werkstoffe für Thermistoren
- » Integration von Funktionswerkstoffen in LTCC-Module

Experimentelle Möglichkeiten

- » Chemische und keramische Präparationslabore
- » Charakterisierung von Pulvereigenschaften (Partikelgröße, spezifische Oberfläche)
- » Sinterung unter definierten Gasatmosphären
- » Thermische Analysen unter definierten Gasatmosphären
- » Röntgenbeugung
- » Elektronenmikroskopie
- » Magnetische Messtechnik
- » Messung elektrischer und thermoelektrische Eigenschaften

Kontakt Funktionskeramische Werkstoffe

Prof. Dr. Jörg Töpfer

Telefon +49 (03641) 205-479

E-Mail joerg.toepfer@eah-jena.de

Kontakt Mikrostrukturelle Analyse keramischer Werkstoffe

Prof. Dr Lutz Wilde

Telefon +49 (03641) 205-475

E-Mail lutz.wilde@eah-jena.de

Prof. Dr. Steffen Teichert

Telefon +49 (03641) 205-848

E-Mail steffen.teichert@eah-jena.de

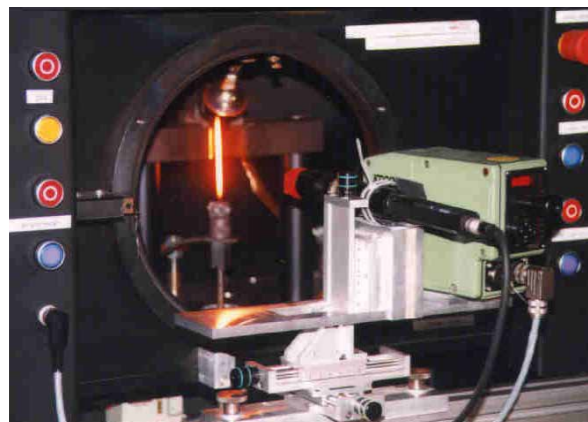
Metallische Konstruktionswerkstoffe

Die Ernst-Abbe-Hochschule arbeitet im Bereich der Konstruktionswerkstoffe an verschiedenen Themenstellungen: Zum einen werden in enger Zusammenarbeit mit der Industrie metallische Werkstoffe für Hochtemperaturanwendungen entwickelt. Auf der anderen Seite steht die Entwicklung neuartiger metallischer Werkstoffe für verschleißbeanspruchte Bauteile im Fokus. Beide Themen erfordern eine detaillierte Charakterisierung der Werkstoffe hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften, des Einsatzverhaltens sowie des strukturellen Aufbaus. Zusätzlich werden auch Schadensanalysen durchgeführt.

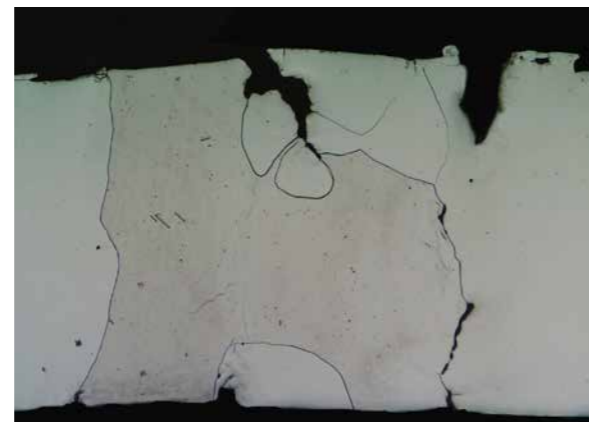
Hochtemperaturwerkstoffe

Für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten metallischer Werkstoffe spielen hohe Einsatztemperaturen eine bedeutende Rolle. Herausragende Beispiele sind die Energietechnik, Luft- und Raumfahrt, Glasindustrie und Medizingerätetechnik. Sehr häufig sind die Beanspruchungsbedingungen dabei sehr komplex, d. h., dass zum Beispiel neben hohen Einsatztemperaturen gleichzeitig korrosive Bedingungen das Werkstoffverhalten beeinflussen.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der metallischen Hochtemperaturwerkstoffe umfassen Entwicklungsprojekte mit Werkstoffherstellern sowie vielfältige Untersuchungen zum Werkstoffverhalten unter sehr hohen Temperaturen. Die Ermittlung mechanischer Hochtemperatureigenschaften im Heißzug- oder Kriechversuch dienen als Grundlage zur Werkstoffauswahl sowie zur Simulation des Bauteilverhaltens unter Einsatzbedingungen.



Durchführung eines Kriechversuches,
Foto: EAH, AG Merker



Kriechschädigung an Iridium bei 1800°C,
Foto: EAH, AG Merker

Experimentelle Möglichkeiten

- » Heißzugversuche unter Normal- und Schutzgasatmosphäre (bis 3000°C)
- » Kriechversuche bis 3000°C unter Normal- und Schutzgasatmosphäre sowie im Vakuum
- » Korrosionsversuche in Glasschmelze bzw. in einschmelzendem Glasgemenge
- » Hochtemperatur-Benetzungsuntersuchungen bis 1700°C

Werkstoffe für verschleißbeanspruchte Bauteile

Viele Bauteile unterliegen bei ihrem Einsatz hohen tribologischen Beanspruchungen. Eine Reduzierung von Reibung und Verschleiß im Einsatz ermöglicht beträchtliche Einsparungen bei Energie- und Materialeinsatz. Ziel der Arbeiten auf diesem Gebiet ist es, neuartige Werkstoffe und/oder Schichten für verschleißbeanspruchte Bauteile nutzbar zu machen bzw. ihr Potenzial für gegebene Anwendungen zu evaluieren. Dazu werden die Werkstoffe bzw. Bauteile in Verschleißtests zunächst definierten Belastungen ausgesetzt und im Anschluss umfassend untersucht. Das Forschungsinteresse besteht dabei insbesondere in der Charakterisierung der durch die Verschleißbeanspruchung hervorgerufenen Änderungen in Phasenzusammensetzung und mechanischen Eigenschaften.



Vorbereitung des Pin/Ball-on-Disc-Tribometers für eine Messung.
Foto: EAH, Rodigast

Experimentelle Möglichkeiten

Zur Durchführung der Verschleißtests stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Neben klassischen pin/ball-on-disc und pin-on-drum-Versuchen können auch Verschleißuntersuchungen bzw. Scratch-Tests mittels Nanoindenter und Rastersondenmikroskop realisiert werden. Letztere eignen sich insbesondere zur phasen- und ortsspezifischen Charakterisierung des Verschleißverhaltens.

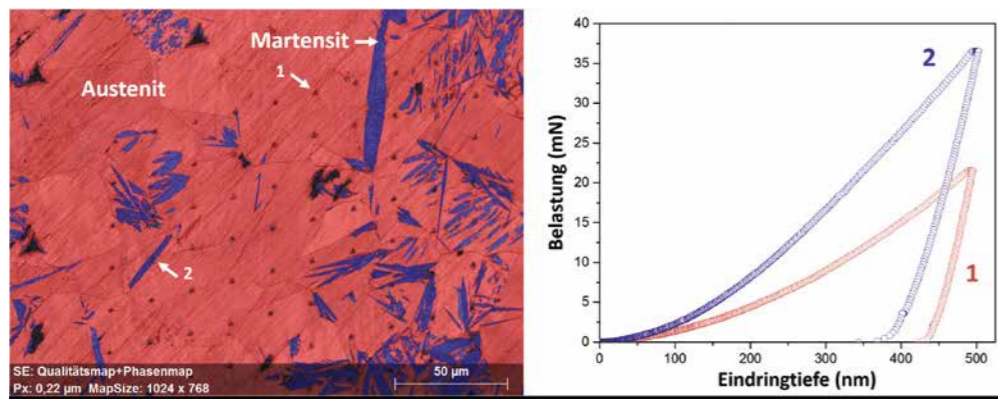
Charakterisierung von Konstruktionswerkstoffen

Zur Gewährleistung einer umfassenden und qualitativ hochwertigen Charakterisierung der Werkstoffe finden eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden Anwendung. Einen wesentlichen Schwerpunkt bilden dabei Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Struktur, Gefüge und Eigenschaften der Werkstoffe. Neben vielfältigen metallographischen Präparationsmethoden stehen dafür Licht- und Rasterelektronenmikroskopie ebenso zur Verfügung wie klassische Verfahren zur

Prüfung mechanischer Werkstoffeigenschaften. Auch röntgenographische Methoden zur Strukturcharakterisierung sowie Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung stehen für umfangreiche Forschungsarbeiten ebenso zur Verfügung wie für Schadensanalysen sowie zur Unterstützung mittelständischer Unternehmen bei der Lösung werkstofftechnischer Probleme.



Aufbau des Nanoindenters, Foto: EAH, AG Kunert



Phasenspezifische Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Austenit (1) und Martensit (2) mittels Nanoindenter. Aufnahmen: EAH, AG Kunert

Ausstattung

- » Lichtmikroskopie
- » Heiztisch TS1500 für Hochtemperatur-Mikroskopie
- » Zug-/Druck-Prüfmaschinen (20 kN und 100 kN)
- » Dynamische Werkstoffprüfung (Pendelschlagwerke mit 50 bzw. 300 Joule Schlagarbeit)
- » Makrohärtemessung nach Brinell, Vickers und Rockwell
- » Kleinlast- und Mikrohärtmessung ($F = 10 \text{ p bis } 1 \text{ kp}$)
- » registrierende Mikrohärtmessung mittels Fischerscope HM2000 (Lastbereich: 0,4 mN bis 2 N, Lastauflösung <math>< 40 \mu\text{N}</math>, Wegauflösung <math>< 0,1 \text{ nm}</math>)
- » Nanoindentation mittels Nano Indenter G200 (Lastbereich: 200 nN bis 500 mN, Lastauflösung <math>< 50 \text{ nN}</math>, Wegauflösung <math>< 0,01 \text{ nm}</math>)
- » Röntgendiffraktometrie (Bruker D8 Discover/Advance)
- » Rasterelektronenmikroskop Zeiss Ultra 55 (EDX, EBSD)
- » Rastersondenmikroskop Keysight 5600LS (AFM, MFM)
- » Ultraschall-Prüfung
- » Wirbelstromprüfung

Kontakt Werkstoffe für verschleissbeanspruchte Bauteile

Prof. Dr. Maik Kunert

Telefon +49 (03641) 205-493

E-Mail maik.kunert@eah-jena.de

Kontakt Hochtemperaturwerkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Merker

Telefon +49 (03641) 205-477

E-Mail juergen.merker@eah-jena.de

Physikalische Werkstoffdiagnostik

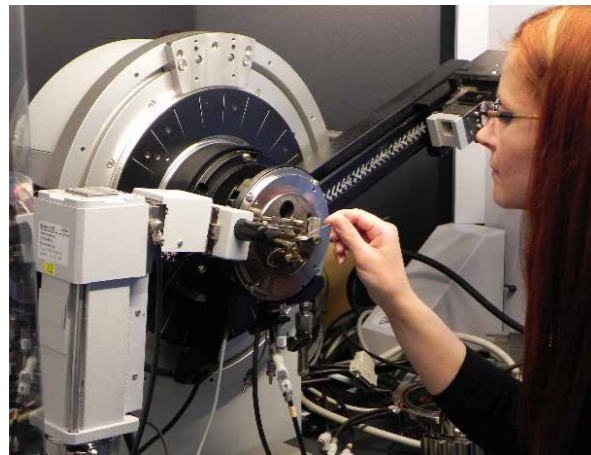
Die Schwerpunkte der Physikalischen Werkstoffdiagnostik an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena liegen auf den drei Gebieten der Röntgendiffraktometrie (XRD), der Elektronenmikroskopie und der Messung der physikalischen Eigenschaften von Funktionswerkstoffen (z.B. elektrische Leitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, Seebeck-Koeffizient). Der Forschungsbereich Physikalische Werkstoffdiagnostik leistet damit einen nicht unerheblichen Beitrag zur Bestimmung von Struktur-/Eigenschaftsbeziehungen, deren Verständnis bei der Entwicklung neuer, smarterer Materialien von grundlegender Bedeutung ist. Die bei uns hauptsächlich untersuchten Materialien sind Funktionskeramiken, Metalle und Metalllegierungen sowie in geringerem Umfang Kunststoffe und Gläser.

Röntgendiffraktometrie

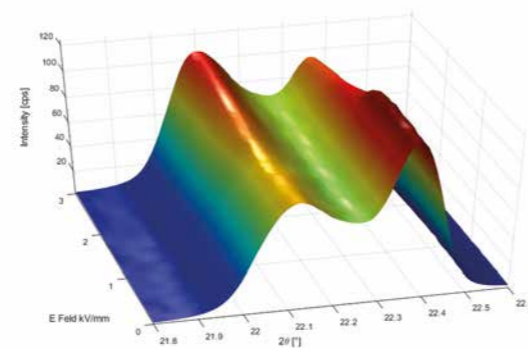
Die Röntgenbeugung wird überwiegend für qualitative und quantitative Phasenbestimmungen nebst der Bestimmung von amorphen Anteilen an zumeist keramischen Proben (Pulver und Bulkmaterial) genutzt. Durch Verfeinerung der Gitterkonstanten kann die Realstruktur dieser keramischen Werkstoffe genauer charakterisiert werden. Von besonderem Interesse ist zudem die Makrotexturbestimmung mittels Polfigurmessungen wie auch die Bestimmung von Eigenspannungen im Bulkmaterial.

Bei dünnen Schichten erfolgen Phasenanalysen durch Messungen im streifenden Einfall, sowie Schichtdicken- und Rauheitsbestimmungen mittels Reflektivitätsmessungen.

In-situ-Hochtemperatur-XRD-Messungen lassen sich unter verschiedenen Gasatmosphären (Stickstoff, Sauerstoff, Vakuum) mit direkter bzw. indirekter Heizung durchführen. Ebenfalls möglich ist die Untersuchung von Phasenübergängen unter dem Einfluss von elektrischen Feldern.



Arbeitsplatz Diffraktometrie,
Bild: EAH, Rechtenbach



Phasenumwandlung an einer Keramik in Abhängigkeit vom angelegten elektrischen Feld. Bild: EAH, AG Prof. Wilde

Rasterelektronenmikroskopie

Typische Anwendungen in der Rasterelektronenmikroskopie sind hochauflösende Darstellungen von Probenoberflächen bis in den Nanometerbereich unter Nutzung unterschiedlicher Detektoren. Darüber hinaus befassen sich einige speziellere Fragestellungen mit der Untersuchung der Mikrotextur, der Korngrenzen sowie Strukturdefekten mittels EBSD (Electron Backscatter Diffraction) bzw. ECC (Electron Channeling Contrast).

An Abbildungs- und Analysetechniken stehen zur Verfügung:

- » Sekundär-, Rückstreu- und Scanning-Transmission Elektronenmikroskopiebilder
- » Elementanalytik (EDX)
- » Lokale Kristallorientierung und Textur (EBSD)



Arbeitsplatz Elektronenmikroskop,
Bild: EAH, Rodigast

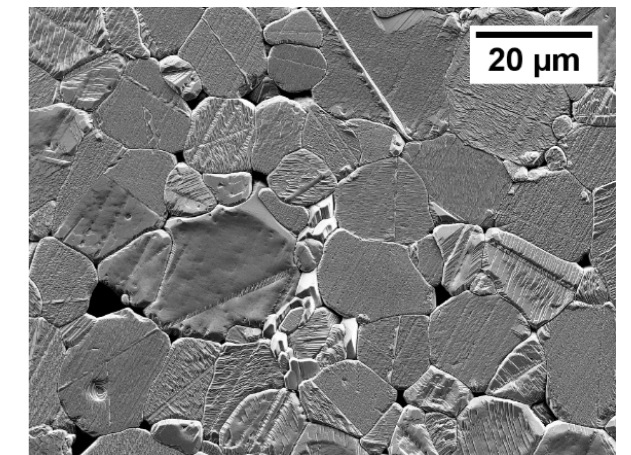


Abbildung der Kornstruktur einer Keramik,
Bild: EAH, AG Prof. Wilde

Ausstattung

Geräte Röntgenbeugung (XRD):

D8 Discover und D8 Advance der Fa. Bruker AXS mit

- » Multiprobenwechsler, x-y-z-Tisch
- » Cu- und Co-Stehanden
- » Göbelspiegel, Polycap
- » 0D-, 1D-, 2D-Detektoren
- » Hochtemperaturkammer MRI
- » Laser-Video System zur Probenjustierung

Geräte zur Messung physikalischer Werkstoffeigenschaften von Raumtemperatur bis 1200°C und unter verschiedenen Atmosphären:

- » Linseis LSR-3 für Seebeck-Koeffizient und elektrischen Widerstand
- » Linseis LFA 1000 Laserflash für thermische Diffusivität (Temperaturleitfähigkeit)
- » Linseis STA PT1600 TG-DSC mit auf cp spezialisierten Messkopf

Geräte Elektronenmikroskopie (REM):

Ultra 55 (Feldemitter) und EVO Ma10 der Fa. Zeiss

- » VP Modus bis 150 Pa für REM-Abbildungen an empfindlichen nichtleitenden Proben
- » Sekundärelektronendetektoren: SE (Everhart-Thornley), Inlense
- » Rückstreuелеktronendetektoren: ASB, ESB
- » Scanning Transmission Elektron Detektor: STEM
- » EDX Detektor der Firma Bruker mit Multipunkt-, Linescan, Mappingfunktion, Partikelanalyse
- » EBSD Detektor der Firma Bruker

Geräte Probenpräparation:

- » Grob- und Präzisionssäge, Heiß- Kalt- und Vakuumeinbettung, manuelle und halbautomatische Schleif- und Poliermaschinen, Vibrationspolitur
- » Beschichtung (mit Schichtdickenmessung) von Proben mit Metallen und Metalllegierungen (Cr, Au, Au/Pd, Pt oder C)

Kontakt

Prof. Dr. Lutz Wilde

Telefon +49 (03641) 205-475

E-Mail lutz.wilde@eah-jena.de

Kontakte ServiceZentrum Forschung und Transfer

Michael Möhwald
Forschungskooperationen und
Transferprojekte

Telefon +49 (03641) 205-392

E-Mail Michael.Moehwald@eah-jena.de

Caroline Reinert
Forschungskooperationen und
Forschungsmarketing

Telefon +49 (03641) 205-394

E-Mail Caroline.Reinert@eah-jena.de

Sophie Reimer
Wissenschaftlicher Nachwuchs

Telefon +49 (03641) 205-125

E-Mail Sophie.Reimer@eah-jena.de

Katrin Sperling
Veranstaltungen

Telefon +49 (03641) 205-269

E-Mail Katrin.Sperling@eah-jena.de

André Kabeck
Gründerservice

Telefon +49 (03641) 205-127

E-Mail Andre.Kabeck@eah-jena.de



Impressum

Herausgeber

Ernst-Abbe-Hochschule Jena
University of Applied Sciences

Carl-Zeiss-Promenade 2
07745 Jena

Telefon: (0 36 41) 205 – 394
E-Mail: transfer@eah-jena.de
Web: www.eah-jena.de/forschung

Konzeption & Redaktion

Michael Möhwald, Caroline Reinert
ServiceZentrum Forschung und Transfer

Konzeption & Gestaltung

ART-KON-TOR Kommunikation GmbH, Jena

Druck

Förster & Borries GmbH & Co. KG
Industrierandstraße 23
08060 Zwickau

Bildnachweis:

©PopTika/shutterstock.com (Seite 1, 108, 88 – 89)
©Stock-Asso/shutterstock.com (Seite 8 – 9)
©Aumm graphixphoto/shutterstock.com (Seite 22 – 23)
©ART-KON-TOR Kommunikation GmbH (54 – 55)
©sdecoret/shutterstock.com (Seite 96 – 97)