



Fraunhofer

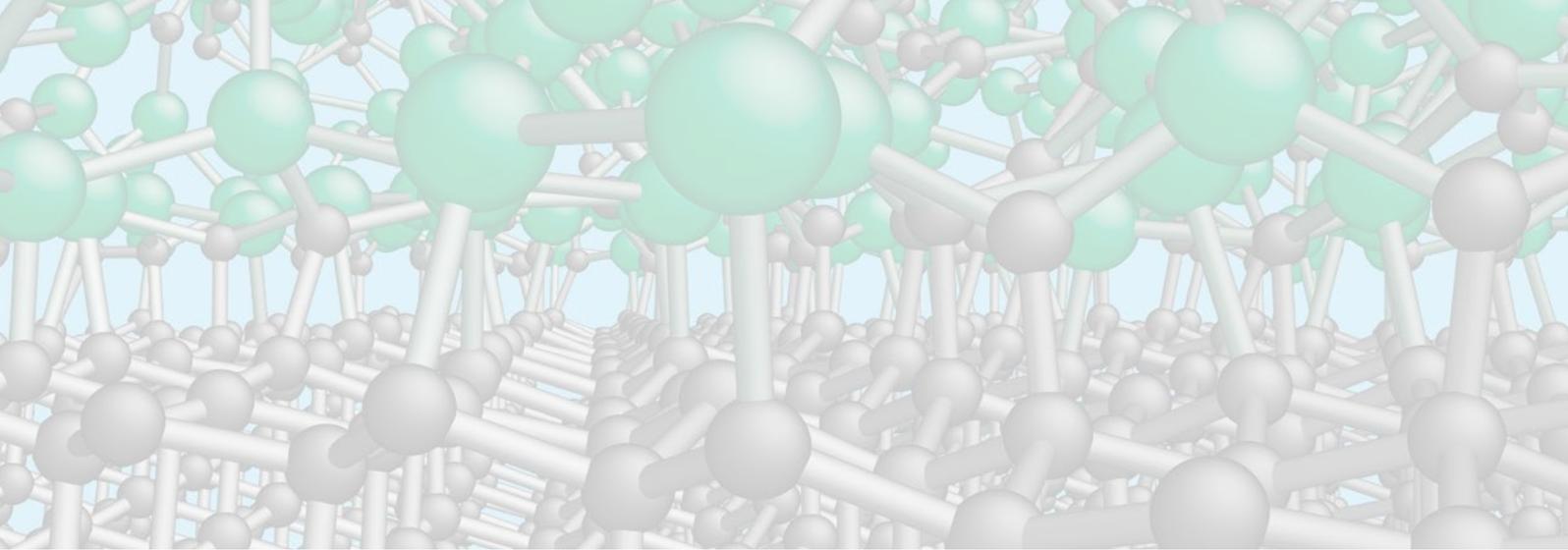
IWM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFFMECHANIK IWM



JAHRESBERICHT

2013



Titelbild: Molekulardynamiksimulation eines trockenen Tribokontakts zwischen Diamant und Siliziumkarbid.

Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen. Rund 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,9 Milliarden Euro. Davon fallen 1,6 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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

JAHRESBERICHT 2013

**Fraunhofer-Institut
für Werkstoffmechanik IWM**

Institutsteil Freiburg
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg
Telefon +49 761 5142-0
Fax +49 761 5142-510

Institutsteil Halle
Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle
Telefon +49 345 5589-0
Fax +49 345 5589-101

info@iwf.fraunhofer.de
www.iwf.fraunhofer.de



Das Fraunhofer IWM arbeitet nach einem Qualitätsmanagementsystem, das nach ISO 9001 zertifiziert ist. (Zertifikatsnummer DE07/3361)

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

»Verborgene Potenziale heben« charakterisiert 2013 die Maxime des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM. In vielen Projekten konnten wir unseren Partnern mit werkstoffmechanischen Lösungen zu Gewinnen bei der Effizienz, der Zuverlässigkeit oder der Funktionalität technischer Systeme verhelfen.

Ein besonderes Highlight ist die Bewilligung des Projekts HYPOS im Rahmen des Zwanzig20-Programms des Bundesforschungsministeriums. Hier entwickeln wir mit Partnern effiziente Lösungen, um den Überschussstrom ostdeutscher Bundesländer in Wasserstoff und andere chemische Energieträger umzuwandeln. Die Vielfalt der mit der Speicherung und Umwandlung von Wasserstoff verbundenen werkstoffmechanischen Fragestellungen im Bereich der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Wasserstofftechnologien sind immens.

Ebenfalls unter der Leitung des Fraunhofer IWM ist das Fraunhofer-Leitprojekt »Kritikalität Seltene Erden« angelaufen. In dem für die gesamte Fraunhofer-Gesellschaft strategisch wichtigen Projekt werden in den nächsten Jahren Ersatzwerkstoffe, ressourceneffiziente Prozesse und Recyclingtechnologien für schwere seltene Erden entwickelt, die bisher zu einem hohen Anteil in Hochleistungsmagneten vertreten sind. Hier sind unsere mikroskopischen Simulations- und Charakterisierungsmethoden sowie unsere Prozessoptimierung gefragt.

In beiden Projekten bewährt sich die kompetenzorientierte und grundlagenbasierte Aufstellung des Fraunhofer IWM als Querschnittsinstitut, welche uns ein hohes Maß an strategischer Flexibilität verschafft.

Grund zu feiern hatten wir im Frühjahr und im Herbst. Im Mai bekam Prof. Dr. Peter Gumbsch den DGM-Preis 2013 verliehen. Damit honoriert die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde seine Pionierarbeit, um die Werkstoffmodellierung in die Produktentwicklungen zu integrieren und um Reibungs- und Verschleißprozesse berechenbar zu machen. Im September konnten wir im Beisein hochrangiger Gäste aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft das Gebäude des Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP einweihen. Durch die Fokussierung auf Fragen der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Solarmodulen und deren Komponenten sind wir zuversichtlich, die aktuell schwierige Marktsituation in diesem Sektor zu meistern.

Mit Aufmerksamkeit beobachten wir die rückläufigen Fördermittel, die das Bundesforschungsministerium in die Werkstoffforschung investiert. Die Werkstoffforschung ist ein zentraler Baustein bei der Sicherung des Industriestandorts Deutschland. Gemeinsam mit den Instituten des Fraunhofer-Verbundes MATERIALS sind wir hier aktiv und werben für wichtige Zukunftsthemen der Werkstoffforschung.

Welchen technologischen und wirtschaftlichen Mehrwert die Forschung an Werkstoffen und Bauteilen leisten kann, zeigen wir im vorliegenden Jahresbericht und wünschen Ihnen eine interessante Lektüre.



Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn



Prof. Dr. Peter Gumbsch



Die Institutsleitung des Fraunhofer IWM: (von links) Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn (Sprecher der Institutsleitung, Institutsleiter), Prof. Dr. Peter Gumbsch (Institutsleiter), Dr. Rainer Kübler (Stellvertretender Institutsleiter Freiburg), Prof. Dr. Matthias Petzold (Stellvertretender Institutsleiter Halle) und Dr. Chris Eberl (Stellvertretender Institutsleiter Freiburg).

Institutsprofil

Das Fraunhofer IWM im Profil	6
Kernkompetenzen	8
Erweiterung unseres Portfolios	10
Kuratorium und Werkstoffmechanikpreis 2013	12
Das Institut in Zahlen	13
Organisation und Ansprechpartner	14

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Tribologie 16

Geprägte Reibung von Thermoplasten mit und ohne Schmierung	18
Sicherer Einsatz von Zirkonoxid-Keramiken in feuchten Medien	20
Die etwas andere Teilchenphysik: Verschleiß in metallischen Systemen	21
Snowstorm – Tribologische Forschung für die Paralympics 2014	22
Monitoring kalter Plasmen zur reproduzierbaren DLC-Abscheidung	23

Fertigungstechnologie 24

High-Throughput-Screening zur Entwicklung neuer Dauermagnete	26
Schwerpunkt Magnetwerkstoffe und Nachhaltigkeit	27

Glaslinsen für die konzentrierende Photovoltaik	28
---	----

Elektrochemische Rauschanalyse zur Schicht- und Materialbewertung	29
---	----

Prozesssimulation des Foliengießens	30
---	----

Trennen von Verbundsicherheitsglas	31
--	----

Bauteilsicherheit 32

Ermüdungsverhaltens austenitischer Werkstoffe: Besseres Werkstoffmodell ..	34
--	----

Crashsicherheit von dickwandigen Aluminiumprofilen ..	36
---	----

Lebensdauervorhersage von Komponenten aus Inconel 718	38
---	----

Modellierung von Stanznietverbindungen	39
--	----

Prozess- und Werkstoffbewertung 40

Skalenübergreifende Simulation von Wasserstoffversprödung.....	42
--	----

Simulationsgestützte Bewertung induktiver Härteprozesse	44
---	----

Bewertung großserienfähiger CFK-Werkstoffe	45
--	----

Virtuelle Kennwerte: Umformsimulation von Blechwerkstoffen	46
--	----

Mikroermüdung an stark plastifizierenden Werkstoffen	47
--	----

Polymeranwendungen 48

Polymere, Materialien und Bauteile aus Biomasse ...	50
---	----

Entwicklung von UD-Tapes für Automotive-Anwendungen	52	Optische Charakterisierung von Grenzflächen und Schichten	75
Reduktion von Bauteilgewichten im Luftfahrzeuginterieur	54	Ertrags- und Leistungsmessung von Solarmodulen	76
Elastomer-Nanopartikel-Komposite für Reifen-Anwendungen	55	Für Durchblick sorgen – Antireflexschichten auf Solarglas	77
Biologische und makromolekulare Materialien	56	Vernetzung des Fraunhofer IWM	
Rekonstruktionsplatten zur Überbrückung von Unterkieferdefekten	58	Verbünde, Allianzen, Projektgruppen	78
Reinigung von dentalen Apparaturen – Tests zur Materialverträglichkeit	60	Fraunhofer-Gemeinschaftsforschung	80
Grenzflächendesign von Polymermischungen.....	61	Innovationscluster und Spitzencluster	81
Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik	62	Anhang	
Neues temperaturstabiles Modulkonzept für die Leistungselektronik	64	Technische Ausstattung	82
TEM-Charakterisierung von GaN-basierten Transistoren	66	Personen, Ausbildung, Ereignisse	86
Laserbasierte Präparationsverfahren für die Materialanalytik	68	Veröffentlichungen	90
Akustische Spektroskopie an leistungselektronischen Komponenten	69	Impressum	99
Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP	70		
Steigerung der Leistung und Zuverlässigkeit von PV-Modulen	72		
Reduktion optischer Verluste in Solarmodulen	74		

Der Bedarf an werkstoffmechanischen Lösungen ist ungebrochen. Die Treiber für unsere Forschungs- und Entwicklungsprojekte ist die permanente Suche unserer Partner nach verborgenen Reserven bei Material- und Energieeffizienz und der globale Wettlauf um Leistungsfähigkeit und Innovation bei Werkstoffen und technischen Systemen.

Die Voraussetzung für die Realisierung neuer Wettbewerbsvorteile ist, das Gesamtsystem aus Werkstoff, Bauteil und Fertigungsverfahren zu beherrschen und für mehr Wirtschaftlichkeit oder mit dem Ziel neuer Funktionen einzustellen.

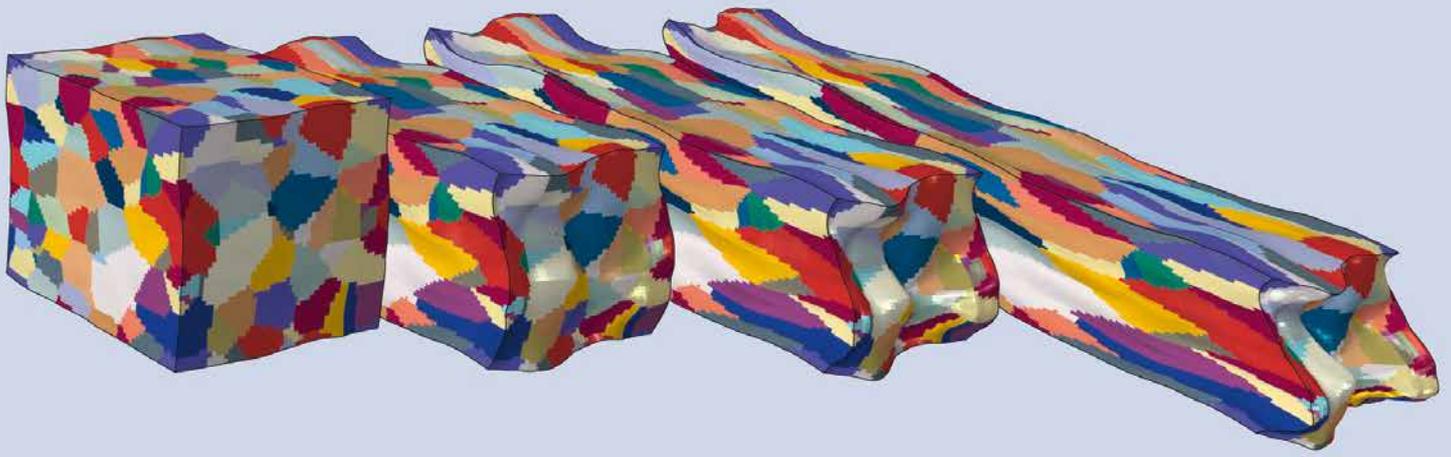
Als **Impulsgeber** entwickelt das Fraunhofer IWM neue wissenschaftliche Konzepte und Methoden für wirtschaftliche und gesellschaftliche Herausforderungen.

Als **Innovator** realisiert das Fraunhofer IWM gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft wettbewerbsentscheidende und nachhaltige Produkt- und Verfahrensentwicklungen.

Als **Problemlöser** beseitigt das Fraunhofer IWM werkstoffbezogene oder technologie- und einsatzbedingte Schwachstellen.

Unsere Zusammenarbeit – Ihr Nutzen





Entwicklung der Mikrostruktur von Kupfer während des Drahtziehens.

Lösungskompetenz für werkstofftechnische Fragen

Wir beherrschen die experimentelle Aufklärung und numerische Modellierung und Simulation des Werkstoffverhaltens unter verschiedensten Belastungen. Darauf aufbauend bewerten wir Bauteile und Systeme umfassend und leiten Maßnahmen zur Einsatzsicherung und zur Verbesserung der Gebrauchseignung ab.

Beispiele in diesem Jahresbericht

- Sicherer Einsatz von Zirkonoxid-Keramiken in feuchten Medien, Seite 20
- Elektrochemische Rauschanalyse zur Schicht- und Materialbewertung, Seite 29
- Rekonstruktionsplatten zur Überbrückung von Unterkieferdefekten, Seite 58
- TEM-Charakterisierung von GaN-basierten Transistoren, Seite 66

Wir betreiben die durchgängige Simulation von Werkstoffen und Bauteilen in Prozessketten. Dadurch können wir die Entwicklung der Werkstoffeigenschaften über mehrere Fertigungsschritte hinweg verfolgen und diese für bestmögliche Bauteileigenschaften und wirtschaftliche Fertigungsprozesse einstellen.

Beispiel in diesem Jahresbericht

- Prozesssimulation des Foliengießens, Seite 30

Wir entwickeln skalenübergreifende Modelle, um die Eigenschaften von Werkstoffen aus ihrer inneren Struktur abzuleiten. Damit können wir virtuell Einfluss auf die Strukturentwicklung bei der Herstellung und auf funktionale Mechanismen nehmen und virtuell neue Werkstofffunktionen realisieren.

Beispiele in diesem Jahresbericht

- High-Throughput-Screening zur Entwicklung neuer Dauermagnete, Seite 26
- Ermüdungsverhalten austenitischer Werkstoffe: Besseres Werkstoffmodell, Seite 34
- Skalenübergreifende Simulation von Wasserstoffversprödung, Seite 42
- Virtuelle Kennwerte: Umformsimulation von Blechwerkstoffen, Seite 46

Wir betrachten Entwicklung, Fertigung und Einsatz von Werkstoffen und Bauteilen integral und identifizieren die relevanten Parameter für ihr Verhalten und für neue Bauteilfunktionen. Auf dieser Grundlage entwickeln wir innovative Fertigungsschritte, Verfahren und Prüfkonzepte.

Beispiele in diesem Jahresbericht

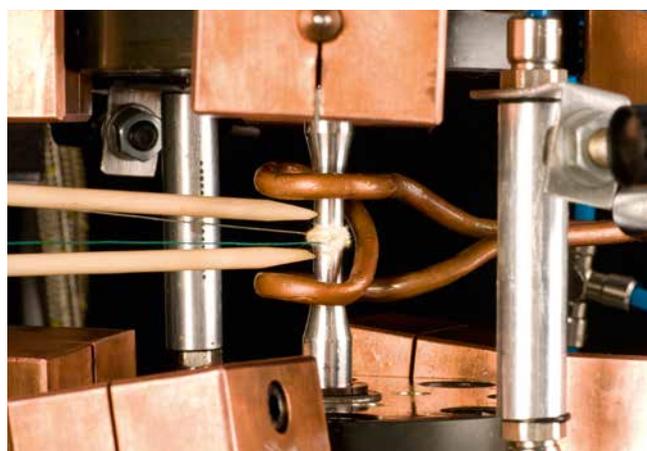
- Monitoring kalter Plasmen zur reproduzierbaren DLC-Abscheidung, Seite 23
- Trennen von Verbundsicherheitsglas, Seite 31
- Entwicklung von UD-Tapes für Automotive-Anwendungen, Seite 52
- Akustische Spektroskopie an leistungselektronischen Komponenten, Seite 69

Die Kernkompetenzen bilden das wissenschaftlich-technologische Fundament des Fraunhofer IWM. Sie finden fachgebietsübergreifend Verwendung und werden entsprechend den Bedürfnissen des Marktes in den Geschäftsfeldern weiterentwickelt.

Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung

Die Voraussetzung, um Lösungen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Werkstoffen und Bauteilen zu finden, ist, Werkstoffe in ihrer inneren Struktur zu erfassen. Dazu verfügen wir über umfassende Kompetenz und modernste Methoden: Wir untersuchen die Reaktion von Werkstoffen und Bauteilen auf mechanische, thermomechanische und elektromechanische Belastungen und klären Verformungs- und Versagensmechanismen auf.

Die benötigten Werkstoffkennwerte erfassen und bewerten wir in Korrelation zur Mikrostruktur und zu strukturellen Prozessen auf allen Größenskalen. In die Bauteilprüfung fließen lokal variierende Werkstoffeigenschaften ein. Wir beschreiben Werkstoffstruktur und Werkstoffverhalten bis in den Bereich der atomaren Auflösung. Bei der Bewertung von Bauteilen berücksichtigen wir die Fehlercharakteristik und Umgebungseinflüsse.

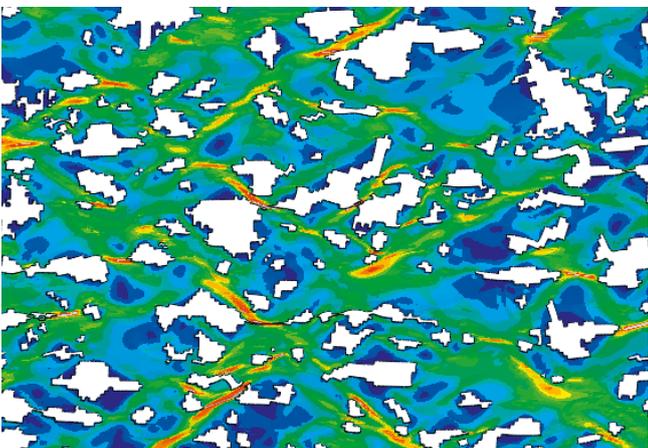


Werkstoffprüfung bei hohen Temperaturen.

Werkstoffmodellierung und Simulation

Die numerische Simulation ist unabdingbar, um Trial-and-Error-Schleifen in der Bauteilentwicklung zu vermeiden und um komplexe Belastungsszenarien abzubilden. Ebenso grundlegend ist sie, um Voraussagen zum Einsatzverhalten von bestehenden Werkstoffen und Bauteilen und solchen, die in der Entwicklung stecken, machen zu können. Dazu beherrschen wir die Werkstoffmodellierung über verschiedene Skalen hinweg (Multiskalenmodellierung) und die Messung modellspezifischer Eigenschaften (Design of Experiments). Zudem beschreiben wir das Verformungs-, Schädigungs-, Bruch- und Funktionsverhalten von Werkstoffen.

Mit unseren virtuellen Testlabors können wir die Sicherheit und Lebensdauer von Bauteilen vorhersagen. Mit der Prozesssimulation können wir Fertigungsparameter und Werkzeuge für optimale Bauteileigenschaften optimieren. Mit dem virtuellen Mikroskop sind wir in der Lage, Funktionen von neuen Werkstoffen zu bewerten und einzustellen.

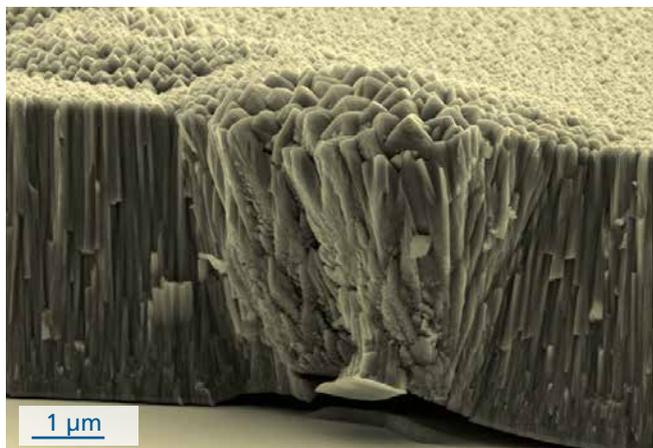


Analyse von Schadensmechanismen an Korngrenzen für einen Dualphasenstahl DP800.

Grenzflächen- und Oberflächentechnologie

Beanspruchungen greifen in Fertigungsprozessen oder im Einsatz sehr oft an den Oberflächen von Bauteilen an. Ebenso bestimmen Oberflächen häufig erst die Funktionalität eines technischen Systems. Das Fraunhofer IWM verfügt über fundiertes Know-how, Methoden und Verfahren um die Oberflächen von Bauteilen hinsichtlich Reibung, Optik, Benetzung, Leitfähigkeit, Topografie oder Adhäsion optimal einzustellen.

Mit modernen Analysetechniken bewerten wir Grenzflächen und Oberflächen entsprechend und klären Versagensmechanismen auf. Hierbei kommen moderne Beschichtungstechnologien oder die gezielte Randschichtmodifikation zum Einsatz. Durch die Simulation von Schichtwachstum, tribologischen Kontakten und Adhäsionsphänomenen können wir Schichteigenschaften und Beschichtungsprozesse optimieren.



Typischer »Wachstumskegel« innerhalb einer PVD-Schicht.

HYPOS: Wasserstofftechnologien für die Speicherung Erneuerbarer Energien

Von Ostdeutschland soll eine Revolution in der Wasserstoffwirtschaft ausgehen: Mit rund 45 Millionen Euro fördert das Bundesforschungsministerium bis 2020 das Projekt »HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany«. Das Vorhaben wird im Rahmen des Zwanzig20-Programms unterstützt, welches auf überregionale, inter-, trans- und multidisziplinäre Kooperationen mit Schwerpunkt Ostdeutschland zielt. Die HYPOS-Federführung übernimmt das Fraunhofer IWM in Halle.

Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird das Problem des Energieüberschusses zukünftig dominieren. Daher ist das zentrale Thema des Projekts die umfassende Nutzung von Strom aus Wind und Sonne zur wirtschaftlichen Erzeugung von Wasserstoff via Elektrolyse. Und: HYPOS soll den Überschuss verwalten. Das beinhaltet die Umwandlung des Überschussstromes in Wasserstoff mit intelligenter Vernetzung von Stromnetz, Wasserstoff-Pipeline, Gasnetz und Gasspeichern. Zudem wird diese Vernetzung mit der stofflichen Nutzung des Wasserstoffs durch die chemische Industrie und die energetische Nutzung für Elektromobilität so verknüpft, dass eine wirtschaftliche Nutzung und Langzeitspeicherung des erneuerbaren Stroms erreicht wird. Wasserstoff als chemischer Energieträger wird dann der Wirtschaft vielgestaltig als chemischer Grundstoff, als Kraftstoff für mobile Anwendungen und zur Wärmeerzeugung, aber auch zur Elektroenergieerzeugung zur Verfügung stehen.

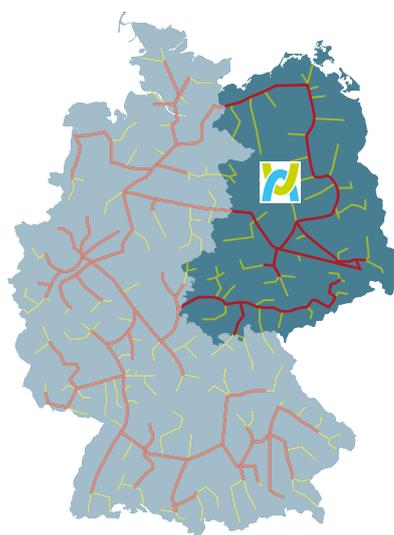
Dabei spielt für die Regellastfähigkeit solcher Elektrolysesysteme die Festigkeit der Werkstoffe unter zyklischer Belastung eine entscheidende Rolle. Aber auch Korrosion und Wasserstoffversprödung sind entscheidende Aspekte, die für eine sichere Wasserstoffinfrastruktur optimiert werden müssen. Die erforderlichen Forschungs- und Entwicklungs-

leistungen erfassen die technologische Seite der gesamten Wertschöpfungskette vom solaren Stromerzeuger bis zum Gasabnehmer.

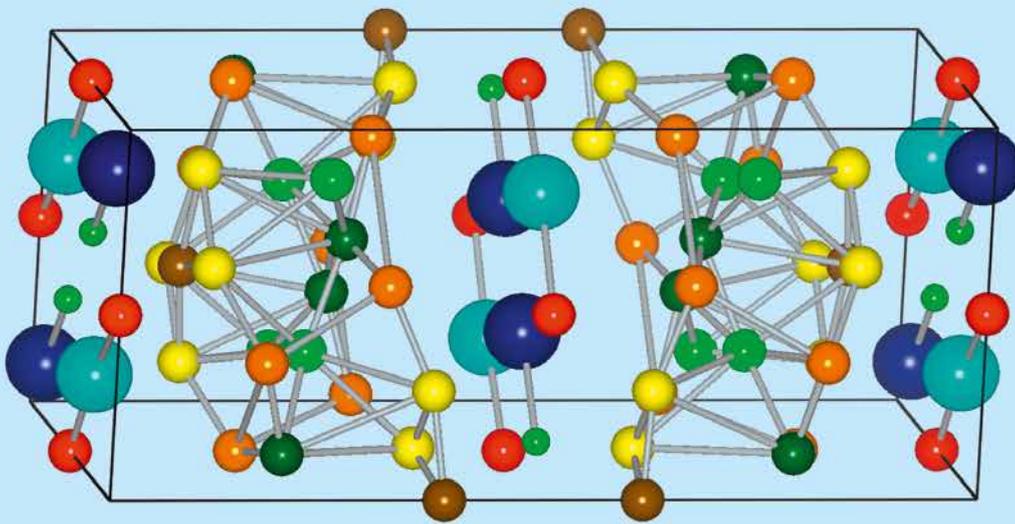
Das HYPOS-Projekt koordiniert und nutzt die konzertierte Kompetenz von ostdeutschen Industrieunternehmen aus den Bereichen Energiewirtschaft, Chemie und Anlagenbau im Verbund mit kleinen und mittleren Unternehmen, Hochschulen und Großforschungseinrichtungen. An dem Projekt werden rund 90 Partner aus Ost- und Westdeutschland beteiligt sein. Es konnten auch Partner aus dem europäischen Ausland gewonnen werden.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn
ralf.wehrspohn@iwmh.fraunhofer.de



1 *HYPOS als Impulsgeber für den Netzausbau in Ostdeutschland. Künftiges Pipelinenetz in Deutschland: intelligente Vernetzung von Stromnetz, Wasserstoff-Pipelines, Gasnetz und Gasspeichern.*



Kristallstruktur des Magnetmaterials $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (siehe »High-Throughput-Screening zur Entwicklung neuer Dauermagnete«, Seite 26).

Fraunhofer Leitprojekt Kritikalität Seltene Erden

Ohne Seltenerd-Metalle sind Hochleistungsmagnete, effiziente Elektromotoren oder Windkraftgeneratoren heute kaum denkbar. Durch ihre immense technologische Bedeutung auch für grüne Technologien, die steigende Nachfrage und geopolitische Randbedingungen sind Seltenerdmetalle zu einem kritischen Wettbewerbsfaktor geworden. Um die Marktstellung der deutschen Hochtechnologie-Branchen nachhaltig sichern zu helfen, suchen unter der Leitung des Fraunhofer IWM sieben Fraunhofer-Institute Ersatzmaterialien für Hochleistungs-Permanentmagnete. Hierzu entwickeln sie effizientere Herstellungsprozesse und optimierte Motorauslegungen sowie innovative Recyclingkonzepte. Anhand zweier Demonstratoren soll nachgewiesen werden, dass der Primärbedarf an schweren Seltenerd-Elementen halbiert werden kann. Neben dem Fraunhofer-Institut IWM sind die Fraunhofer-Institute IFAM, IGB, ISC, ISI, IWU und LBF am Projekt beteiligt.

Die Forschung konzentriert sich auf Substitutionsmöglichkeiten für das momentan beste Magnetmaterial (Nd,Dy)-Fe-B. Zusätzlich zum großen Anteil des Elements Neodym ist ein kleiner Anteil des schweren und sehr seltenen Elements Dysprosium wichtig, um aus dem Ferromagneten einen starken und temperaturstabilen Permanentmagneten zu machen. Zwei Gruppen am Fraunhofer IWM wollen mit elektronentheoretischer Materialsimulation und elektronenmikroskopischer Materialcharakterisierung neuartige anisotrope, ferromagnetische, intermetallische Phasen ohne Dysprosium finden. Sie setzen dazu materialtheoretische High Throughput Screening- und informationstheoretische Data Mining-Simulationen ein.

Das Fraunhofer IWM und das Fraunhofer ISC/IWKS synthetisieren die Substitutionskandidaten und charakterisieren

sie chemisch, mikrostrukturell und elektromagnetisch. Dazu nutzen sie die Schmelzmetallurgie und die Mikrostrukturanalyse. Um den Primärverbrauch von Dysprosium in der Fertigung substanziell zu reduzieren, entwickelt und nutzt das Konsortium pulvertechnologische Methoden. Bisher verzeichnet der Herstellungsprozess durch Pulverpressung und anschließendes Sintern einen erheblichen Materialverlust, der auch durch die erforderliche Nachbearbeitung der Form entsteht. Um dies zu vermeiden, arbeitet das Projekt-Team daran, in einem kürzeren Produktionsprozess endkonturnahe Magnete herzustellen. Zudem sollen zwei Herstellungstechniken geprüft und optimiert werden, die bisher für Permanentmagnete noch ungenutzt sind: der MIM-Pulverspritzguss und die 3D-Umformtechnik.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur effizienteren Nutzung der Magnetmaterialien ist die auf neue Materialien optimierte Auslegung von Motoren. Mit numerischen Simulationstools und experimentellen Prüfständen soll das elektromagnetische Verhalten der Motoren geprüft und optimiert werden. Dies wollen die Fraunhofer-Experten an zwei Fallbeispielen demonstrieren: an einem speziellen Lenkungsmotor, der in großen Stückzahlen hergestellt wird, und an einem Traktionsmotor für die zukünftige Elektromobilität. Die Forscher arbeiten darüber hinaus auch an Wegen die Permanentmagnete zu recyceln, da bisher weltweit noch kein gleichwertiges Substitut für (Nd,Dy)-Fe-B-Magnete gefunden wurde.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Christian Elsässer
christian.elsaesser@iwm.fraunhofer.de

Prof. Dr. Thomas Höche
thomas.hoeche@iwmh.fraunhofer.de

KURATORIUM UND WERKSTOFFMECHANIKPREIS 2013

*Preisverleihung des Werkstoffmechanikpreises 2013;
von links: Prof. Dr. Peter Gumbsch, Jan Pagenkopf,
Dr. Tobias Amann, Dr. Michael Krause, Dr. Lorenz Sigl.*



Das Kuratorium des Fraunhofer IWM 2013

Dem Kuratorium gehören Persönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft an, die dem Fraunhofer IWM fachlich nahe stehen. Gemeinsam mit dem Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft beraten und unterstützen sie das Institut mit ihrer Expertise bei strategischen Themen, Weichenstellungen im Institut und der Entwicklung von Zukunftsperspektiven.

- Dr. Alexander Sagel, Vorsitzender
KS Kolbenschmidt GmbH, Neckarsulm
- Dr. Markus Baur, BMW Group, München
- Dr. Karlheinz Bourdon, KraussMaffei Technologies GmbH,
München
- Siegfried Glaser, Glaser FMB GmbH & Co. KG, Beverungen
- MinDirig. Hans-Joachim Hennings, Ministerium für Wissen-
schaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt,
Magdeburg
- Dr. Florian Holzapfel, Calyxo GmbH, Bitterfeld-Wolfen
- Ralf Irmert, Styron Deutschland GmbH, Schkopau
- Dr. Roland Langfeld, Schott AG, Mainz
- Prof. Dr. Detlef Löhe, Karlsruher Institut für Technologie KIT
- Prof. Dr. Ingrid Mertig, Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg
- Dr. Christoph Mühlhaus, Sprecher des Clusters Chemie/
Kunststoffe Mitteldeutschland, Halle, Saale
- Prof. Dr. Rolf Mülhaupt, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Peter Putsch, Putsch Plastics GmbH & Co. KG, Nürnberg
- Prof. Dr. Lorenz Sigl, Plansee SE Reutte, Österreich
- Hans-Jürgen Straub, X-FAB Semiconductor Foundries AG,
Erfurt
- Staatssekretär Marco Tullner, Ministerium für Wissenschaft
und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg
- MinRat Dr. Joachim Wekerle, Ministerium für Finanzen und
Wirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart
- Jens Wemhöner, Cerobear GmbH, Herzogenrath

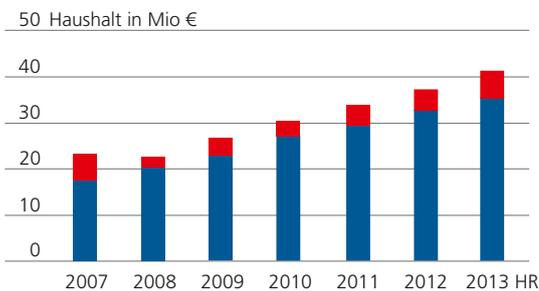
Werkstoffmechanikpreis 2013, gestiftet von Plansee SE Reutte

Das Kuratorium hat Tobias Amann den mit 1 500 Euro dotierten Werkstoffmechanikpreis verliehen. Er überzeugte die Jury mit seiner Dissertation »Tribologische Untersuchung ausgewählter mesogener und ionischer Flüssigkeiten im Festkörperkontakt zur Entwicklung neuartiger Schmierstoffe«.

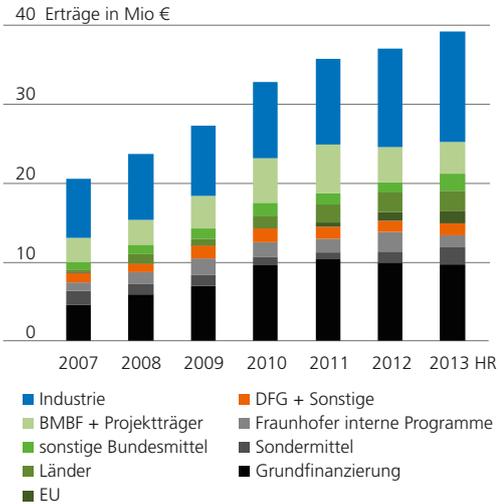
Um die Energieeffizienz technischer Systeme zu steigern, ihren Verschleiß zu minimieren und die Limits von Mineralöl-Schmierstoffen zu überwinden, hat Tobias Amann komplexe Fluide untersucht. Die mesogenen und ionischen Flüssigkeiten

erzielten bei Eisen als Reibpartner extrem niedrige Reibwerte von 0,01 bis 0,005. Zudem bilden sich lösliche Eisenkomplexe, die verhindern, dass Verschleißpartikel im Reibspalt entstehen.

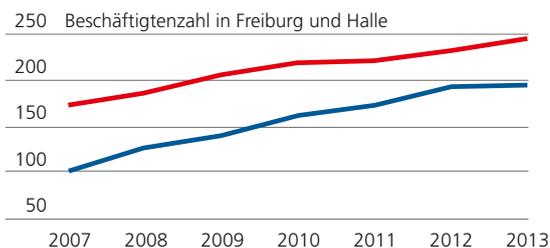
Ebenfalls nominiert waren die Dissertation von Michael Krause »Ortsaufgelöste Bestimmung von Gitterverzerrungen in Silizium-Nanostrukturen mittels Elektronenrückstreubeugung« sowie die Diplomarbeit von Jan Pagenkopf »Algorithmische Behandlung der Kristallplastizität im Rahmen der FEM zur virtuellen Kennwert-ermittlung«. Beide haben einen Anerkennungspreis erhalten.



1 Entwicklung des Investitionshaushalts (rot) und des Betriebshaushalts (blau) des Fraunhofer IWM.



2 Entwicklung der Erträge des Fraunhofer IWM (Freiburg und Halle).



3 Personalentwicklung des Fraunhofer IWM in Freiburg (rot) und Halle (blau).

Der Haushalt des Fraunhofer IWM setzt sich zusammen aus einem Betriebshaushalt und einem Investitionshaushalt.

Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IWM ist weiter gewachsen und beläuft sich auf 35,1 Millionen Euro (Hochrechnung November 2013).

Davon entfallen 18,2 Millionen Euro auf den Institutsteil Freiburg und 16,9 Millionen Euro auf den Institutsteil Halle.

Der Investitionshaushalt 2013 beträgt 6,2 Millionen Euro.

Im Betriebshaushalt sind alle Personal- und Sachaufwendungen enthalten. Er bildet daher das starke personelle Wachstum der letzten Jahre direkt ab. Der Betriebshaushalt wird finanziert durch externe Erträge aus Industrie und öffentlicher Hand und durch institutionelle Förderung (Grundfinanzierung).

Der Anteil der Industrieerträge am Betriebshaushalt liegt bei 39,6 Prozent.

Ende 2013 sind am Fraunhofer IWM insgesamt 439 Personen als Stammpersonal beschäftigt, davon 245 in Freiburg und 194 in Halle. Die Beschäftigtenzahl setzt sich zusammen aus 207 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, 134 technischen Beschäftigten, 81 Angestellten in der Infrastruktur und 17 Auszubildenden.

Inklusive der 96 wissenschaftlichen Hilfskräfte, Diplomandinnen und Diplomanden sowie Praktikantinnen und Praktikanten waren Ende 2013 insgesamt 535 Personen am Fraunhofer IWM beschäftigt.

Stand: November 2013



Leitungsteam des Fraunhofer IWM, Freiburg.

Von links: Dr. Wulf Pfeiffer, Michael Schmid, Prof. Dr. Peter Gumbsch, Dr. Dieter Siegele, Dr. Günter Kleer, Prof. Dr. Matthias Scherge.

ORGANISATION INSTITUTSTEIL FREIBURG

Institutsleiter Prof. Dr. Peter Gumbsch	Stellvertretende Institutsleiter Dr. Chris Eberl und Dr. Rainer Kübler	Verwaltungsleiter Michael Schmid
--	---	-------------------------------------

GESCHÄFTSFELDER

Tribologie Prof. Dr. Matthias Scherge	Fertigungstechnologie Dr. Günter Kleer	Bauteilsicherheit Dr. Dieter Siegele	Prozess- und Werkstoff- bewertung Dr. Wulf Pfeiffer
Verschleißschutz, Technische Keramik Dr. Andreas Kailer	Bearbeitungs- und Trennverfahren Dr. Rainer Kübler	Anlagensicherheit, Bruchmechanik Dr. Dieter Siegele	Mikrostruktur- und Schadensanalyse Dr. Wulf Pfeiffer
Multiskalenmodellierung und Tribosimulation Prof. Dr. Michael Moseler	Heißformgebung Glas Dr. Peter Manns	Crashesicherheit, Schädigungsmechanik Dr. Dong-Zhi Sun	Ermüdungsverhalten, Eigenspannungen Dr. Michael Luke
Biomedizinische Materialien, Implantate Dr. Raimund Jaeger	Funktionale Schichtsysteme Dr. Frank Burmeister	Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik Dr. Christoph Schweizer	Verbundwerkstoffe Dr. Jörg Hohe
Tribologische Schichtsysteme Dr. Sven Meier	Pulvertechnologie Dr. Torsten Kraft	Fügeverbindungen Dr. Silke Sommer	Formgebungs- und Umformprozesse Dr. Dirk Helm
Mikrotribologie Prof. Dr. Matthias Scherge	Physikalische Werkstoff- modellierung Prof. Dr. Christian Elsässer		Mikromechanische Beanspruchungsanalyse Dr. Chris Eberl

GRUPPEN

Infrastruktur Michael Schmid	Personal und Dienstreisen Kerstin A. Drüsedau	Kfm. Verwaltung, Finanzen Nina Halaczinsky	Mechanische Werkstatt Stefan Frei
Stab Institutsleitung Dr. Rainer Kübler	Technische Dienste Roland Guth	Informationstechnik IT Klaus Merkel	Öffentlichkeitsarbeit Thomas Götz



Leitungsteam des Fraunhofer IWM, Halle.

Von links: Prof. Dr. Jörg Bagdahn, Thomas Merkel, Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn, Prof. Dr. Matthias Petzold, Prof. Dr. Andreas Heilmann, Prof. Dr. Mario Beiner.

ORGANISATION INSTITUTSTEIL HALLE

Sprecher der Institutsleitung und Institutsleiter Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn	Stellvertretender Institutsleiter Prof. Dr. Matthias Petzold	Verwaltungsleiter Thomas Merkel
--	---	------------------------------------

GEMEINSAM MIT ANDEREN FRAUNHOFER-INSTITUTEN BETRIEBENE FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

Polymeranwendungen Prof. Dr. Mario Beiner (komm.)	Biologische und makro-molekulare Materialien Prof. Dr. Andreas Heilmann	Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik Prof. Dr. Matthias Petzold	Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP Prof. Dr. Jörg Bagdahn Dr. Peter Dold*	Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ Prof. Dr. Michael Bartke**
Naturstoffkomposite Dr. André Rapphel	Technologien für biofunktionale Oberflächen Prof. Dr. Andreas Heilmann	Bewertung mikroelektronischer Systemintegration Prof. Dr. Matthias Petzold	Abteilung Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität Prof. Dr. Jörg Bagdahn	Polymerverarbeitung Dr. Peter Michel
Polymerbasiertes Materialdesign Prof. Dr. Mario Beiner	Charakterisierung von med. u. kosmet. Pflegeprodukten Dr. Andreas Kiesow	Charakterisierung Mikrosysteme Prof. Dr. Matthias Petzold (komm.)	Diagnostik Solarzellen Dr. Christian Hagendorf	Polymersynthese Dr. Ulrich Wendler**
Polymerverarbeitung Dr. Peter Michel	Bewertung von Materialien der Medizintechnik Dr. Sven Henning	Nanomaterialien und Nanoanalytik Prof. Dr. Thomas Höche	Siliziumwafer Dr. Hartmut Schwabe	
		Diagnostik Halbleitertechnologien Frank Altmann	Optische Materialien und Spektroskopie Prof. Dr. Stefan Schweizer	
			Modulzuverlässigkeit Dr. Matthias Ebert	
			Modultechnologie Dr. Jens Schneider	
			Abteilung Labor für Kristallisationstechnologie Prof. Dr. Peter Dold*	

* Fraunhofer ISE
 ** Fraunhofer IAP

Infrastruktur Thomas Merkel	Projekte & Finanzen Helga Steinhäuser	Mechanische Werkstatt, Technische Dienste, IT Sebastian Gerling	Personal & Dienstreisen Constanze Reiche
Wissenschaftsmanagement Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn	Büro Institutsleitung Heike Gehritz	Öffentlichkeitsarbeit Jasmine Ait-Djoudi	Business Development & Strategic Planning Prof. Dr. Manfred Fütting

Geschäftsfeld

TRIBOLOGIE

GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Matthias Scherge | Telefon +49 761 5142-206 | matthias.scherge@iwm.fraunhofer.de

Fokus

Wir optimieren tribologische Systeme und erarbeiten Lösungen, mit denen Reibung und Verschleiß gezielt eingestellt werden können. Zudem entwickeln wir Verschleißschutzlösungen durch technische Keramik, neuartige Schmierstoffe, tribologische Schichtsysteme sowie fertigungstechnisch konditionierte Tribowerkstoffe. Ebenso klären wir Reibungsphänomene sowie Einlauf- und Verschleißmechanismen von Wälz- und Gleitlagern, Schneid- und Umformwerkzeugen sowie Motor- und Getriebeelementen auf. Dazu nutzen wir sowohl experimentelle Untersuchungen und Mikrostrukturanalysen als auch Multiskalenmodellierung und numerische Simulation.

Leistungsspektrum

- Kennwertermittlung für Werkstoffe, Werkstoffverbunde und Schichten unter einsatzrelevanten Belastungsbedingungen
- Bewertung und Optimierung des Einsatzverhaltens von Verschleißschutzschichten und von Reibkontakten
- Belastungsanalysen, Erprobung und Versagensbewertung von Bauteilen aus Metallen, Keramiken und Kunststoffen
- Herstellung und Bewertung von glatten und strukturierten diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtungen für hohe Gleit- und Wälzbelastungen
- Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Lebensdauervorhersage

Bemerkenswertes aus 2013

Herausragende Ergebnisse wurden 2013 im Rahmen von Promotionen erzielt: Die Themen reichen von »Tribologie an Goldkontakten«, »Tribologie und Wasserstoffversprödung« und »Graphen in der Tribologie« über »Molekulardynamische Simulation von DLC-Stahl-Kontakten«, »Hartstoffschichten und Diamant« bis hin zum Thema »Ionische Flüssigkeiten«. Zum letzten Themenkreis erhielt Dr. Tobias Amann den Werkstoffmechanikpreis, gestiftet von der Plansee SE Reutte. Die Fülle der Ergebnisse ermöglichte uns die Teilnahme an einer Reihe von nationalen und internationalen Konferenzen, beispielsweise der »Wear of Materials« in Portland, USA, sowie dem »World Tribology Congress« in Torino, Italien. Auf beiden Konferenzen war Prof. Dr. Michael Moseler mit einem eingeladenen Vortrag vertreten, was die hohe Reputation unserer grundlegenden und anwendungsnahen Forschung zur atomistischen Simulation in der Tribologie belegt.

Parallel zu den Promotionsarbeiten wurden in vielen Projekten weitere Grundlagen für zukunftsweisende Angebote an unsere Kunden erarbeitet: in den Bereichen der tribologischen Anwendungen bei hohen Temperaturen sowie bei korrosiven Umgebungen, bei der Mesoskalensimulation auf Basis der Partikelhydrodynamik, in der Polymertribologie und der Tribologie von Diamant sowie der energetischen Betrachtung zum Einlauf geschmierter Systeme.

In Karlsruhe begannen die Bauarbeiten zum neuen Prüfstandsgebäude am KIT Campus Ost. Die Fertigstellung des Rohbaus soll bis Ende des Jahres erfolgen. Mit dem Umzug rechnen wir Anfang 2015. Zeitgleich mit der Fertigstellung der Baugrube erhielten wir die Baugenehmigung für unser Gebäude auf dem Campus Süd des Karlsruher Instituts für Technologie KIT. Dieses Gebäude soll Ende 2015 fertig gestellt sein.



Von links: Dr. Andreas Kailer, Dr. Raimund Jaeger, Prof. Dr. Matthias Scherge, Dr. Sven Meier und Prof. Dr. Michael Moseler.

Gruppen

Verschleißschutz, Technische Keramik

Wir prüfen, bewerten und simulieren die Wirkung von Veränderungen in tribologischen Kontakten von Keramik, Schichten, Polymeren und Metallen. So ermitteln wir sowohl die zulässigen Einsatzbedingungen als auch die Auswirkungen einer Werkstoffsubstitution. Aus diesen Lösungen resultieren Prozess- und Bauteiloptimierungen, beispielsweise für Keramikwerkzeuge, Kugellager, Wälzlager, Gleitlager oder Pumpen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt sind Tribokunststoffe, flüssigkristalline Schmierstoffe und Graphen.

Dr. Andreas Kailer

andreas.kailer@iwf.fraunhofer.de

Multiskalenmodellierung und Tribosimulation

Durch skalenübergreifende numerische Simulation statischer und dynamischer Eigenschaften von Werkstoffsystemen setzen wir makroskopische Material-, Bauteil- und Prozesseigenschaften mit Mechanismen auf der Mikroskala in Beziehung. Diese Brücke zwischen Quantentheorie, Atomistik, Mesoskopik und Kontinuum ermöglicht grundlegende Optimierungen industrieller Materialsyntheserouten und Prozessführungen zur Reib- und Verschleißreduktion in Tribosystemen sowie für das wissenschaftsbasierte Design von Nanomaterialien und Suspensionen.

Prof. Dr. Michael Moseler

michael.moseler@iwf.fraunhofer.de

Biomedizinische Materialien und Implantate

Schwerpunkte sind die Bewertung der Zuverlässigkeit und des Einsatzverhaltens biomedizinischer Materialien und Implantate, die belastungsgerechte Auslegung und Bewertung generativ gefertigter Komponenten sowie die Tribologie von Thermoplasten, Elastomeren und Hydrogelen. Hierzu werden

geeignete Experimente und Simulationstechniken entwickelt sowie Prüfungen nach Kundenanforderungen oder adäquaten Normen durchgeführt.

Dr. Raimund Jaeger

raimund.jaeger@iwf.fraunhofer.de

Tribologische Schichtsysteme

Der Schwerpunkt ist die Entwicklung von maßgeschneiderten PECVD-Beschichtungslösungen und -verfahren. Dazu gehört die Herstellung und Bewertung von glatten und strukturierten diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtungen (DLC) für hohe Gleit- und Wälzbelastungen und von kristallinen Diamantschichten für Sonderanwendungen.

Dr. Sven Meier

sven.meier@iwf.fraunhofer.de

Mikrotribologie

Um Verschleißmechanismen aufzuklären, verwenden wir Ansätze auf schädigungsmechanischer und energetischer Basis sowie kontinuierliche hochauflösende Reibungs- und Verschleißmessungen. Den Einfluss der tribologischen Beanspruchung auf oberflächennahe Bereiche der Werkstoffe, zum Beispiel bei Endbearbeitung und Einlauf, bestimmen wir mit Methoden der Oberflächenphysik und Oberflächenchemie. Einer der Schwerpunkte ist die Sporttribologie für den Wintersport.

Prof. Dr. Matthias Scherge

matthias.scherge@iwf.fraunhofer.de

GEPRÄGTE REIBUNG VON THERMOPLASTEN MIT UND OHNE SCHMIERUNG

Thermoplastische Kunststoffe werden typischerweise durch Extrudieren, Spritzguss oder Pressen zu Bauteilen verarbeitet. Für bestimmte Anwendungen kann es wünschenswert sein, die Oberfläche der Kunststoffbauteile mit einer Struktur zu versehen. Die Oberflächenstrukturierung wird während des Fertigungsprozesses erzeugt oder durch einen nachträglichen Heißprägeprozess aufgebracht. Solche Strukturen im sub- μm -Bereich können entspiegelnd wirken oder das Benetzungsverhalten von Oberflächen verändern. Größere Oberflächenstrukturen modifizieren das haptische Erfahren von Lenkrädern, Handgriffen oder Schaltknüppeln. Thermoplasten werden auch für tribologische Anwendungen verwendet, zum Beispiel als Gleitlager oder Gleitelement. Mittels einer Oberflächenstrukturierung können die tribologischen Eigenschaften variiert werden.

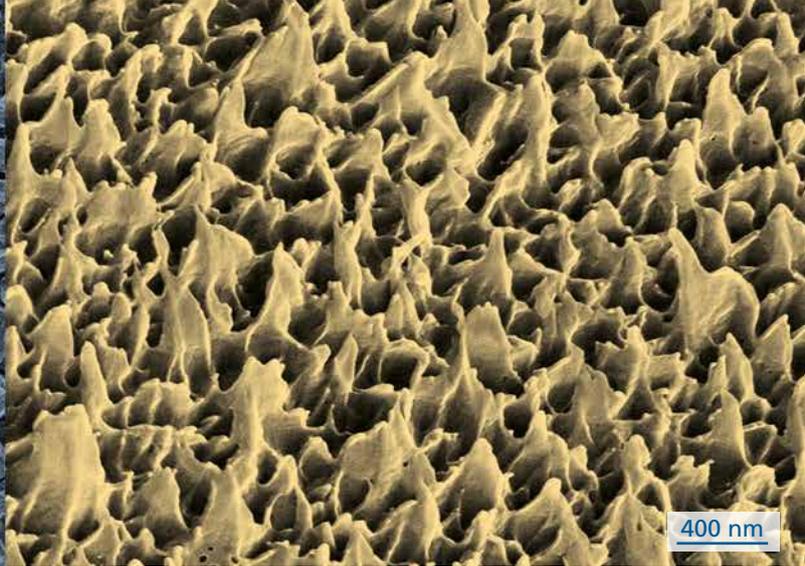
Gleiteigenschaften

Die Gleiteigenschaften von Thermoplasten werden im trockenen Kontakt über ihre plastischen und adhäsiven Eigenschaften bestimmt. Im Kontakt mit polierten oder glatten Materialien bestimmt die adhäsive Anbindung des Polymers an den Reibpartner das Gleitverhalten. Durch die Oberflächenstrukturierung eines Thermoplasten kann dessen Kontaktfläche und damit dessen Gleitverhalten verändert werden. Die Dimensionen der geprägten Struktur sollten hierbei kleiner als die Dimensionen der typischen Rauigkeit des Reibpartners sein. Somit ist es besonders interessant, Nanostrukturen mit einem ausreichenden Aspektverhältnis über Heißprägeverfahren mit pyramidalen oder zylindrischer Form zu erstellen.

Geschmierter Kontakt mit Struktur

Im geschmierten Kontakt beeinflussen Oberflächenstrukturierungen die Ausbildung eines Schmierfilms und die Ausprägung der Mischreibung. Je nach Schmiermedium, Form und Aspektverhältnis der Struktur kann diese als Antirutsch- oder Antistick-Modifikation genutzt werden. Eine zylindrische Struktur führt über einen weiten Pressungsbereich zu keiner deutlichen Veränderung der Kontaktfläche. Dennoch entsteht durch diese Oberflächenstruktur ein Antislip-Effekt: Die Lücken zwischen den Zylindern führen bei höheren Reibgeschwindigkeiten zum Aufschwimmen der Kontaktflächen (Abbildung 1).

Hingegen verursachen geeignete pyramidale Nanostrukturen eine Antistick-Modifikation (Abbildung oben rechts): Bei niedriger Geschwindigkeit verringern sie die Kontaktfläche und die adhäsive Anbindung an den Reibpartner und verringern somit den Reibwert. Diese pyramidalen Nanostrukturen können die oft unerwünschte Haftreibung verringern, indem sie die Kontaktfläche für geringe Kontaktdrücke sehr gering halten. Für Strukturen aus extrem langen Fäden ist hingegen bekannt, dass sie eine erhöhte Haftreibung erzeugen: Bei Scherung biegen die Fäden und erzeugen eine größere Kontaktfläche. Diese Haftreibung kann über eine Scherung in entgegengesetzter Richtung mit geringem Aufwand gelöst werden. Grundsätzlich kommt es bei geeignet profilierten Strukturen, hohen Reibgeschwindigkeiten und gleichzeitig hoher Viskosität des Schmiermediums zu einer höheren Tragfähigkeit des Schmierfilms im Vergleich zum glatten Kontakt.



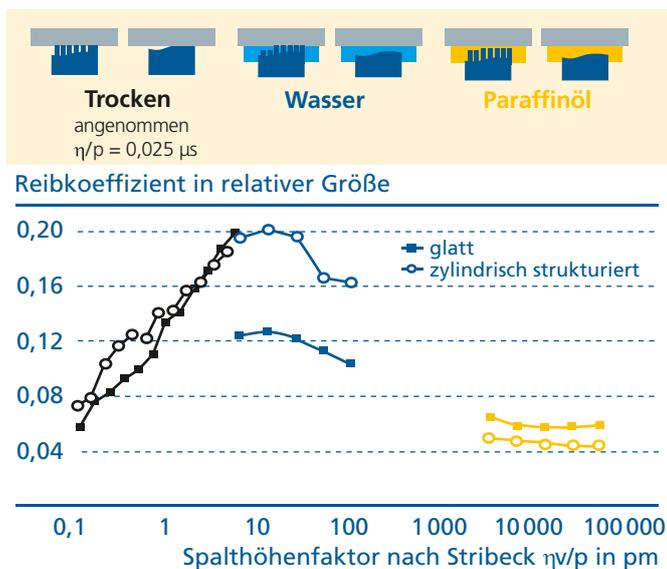
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der geprägten Strukturen von Thermoplasten in Form von Zylindern (links) und Pyramiden (rechts).

Entnetzungsverhalten der Schmierung

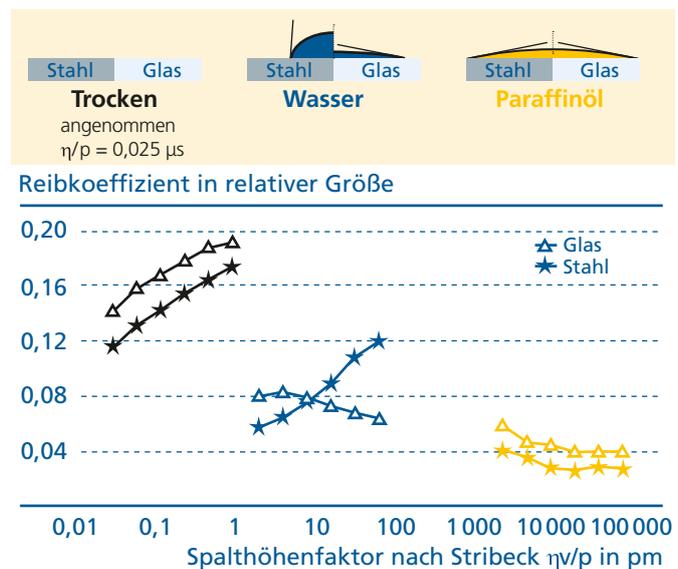
Die adhäsive Anbindung des Polymers an den Reibpartner verringert sich mit zunehmender Gleitgeschwindigkeit, da die Kontaktfläche aufschwimmt. Zusätzlich wird die Mischreibung durch den Grad der Benetzung der Kontaktpartner mit dem Schmiermedium beeinflusst. Die Entstehung der Mischreibung des glatten adhäsiven Kontakts ist somit nicht nur von der Viskosität des Schmiermediums abhängig, sondern auch von einem Entnetzungsparameter. Dieser Parameter beschreibt die Energiedifferenz zwischen vollständig benetzten Kontaktflächen und einem durch die Verdrängung des Schmierfilms

entstandenen trockenen Kontakt. Ein positiver Entnetzungsparameter ist charakteristisch für tribologische Systeme, die erst bei höheren Geschwindigkeiten aufschwimmen. Entsprechend schwimmt HD-Polyethylen auf Glas im Vergleich zum Kontakt auf Stahl mit Wasser als Schmiermedium schon bei geringeren Geschwindigkeiten auf, da der Entnetzungsparameter ΔW auf Stahl größer ist als auf Glas. In Paraffinöl ist der Entnetzungsparameter nahezu identisch und das Verhalten für Glas und Stahl somit ähnlich (Abbildung 2).

Michael Gutmann, Dr. Christof Koplin



1 Abhängigkeit des geschmierten Reibverhaltens von heißgeprägten gleitbelasteten Strukturen auf HD-Polyethylen-Thermoplasten.



2 Abhängigkeit des geschmierten Reibverhaltens von glatten HD-Polyethylen-Thermoplasten (unten) und Darstellung der Benetzungswinkel (oben).

SICHERER EINSATZ VON ZIRKONOXID-KERAMIKEN IN FEUCHTEN MEDIEN

Zirkonoxid-Keramiken zeichnen sich durch besondere technische Eigenschaften aus. Die hohe mechanische Festigkeit, Verschleißbeständigkeit und Härte ermöglichen erst den Einsatz des Werkstoffes beispielsweise für Pumpen und Armaturen sowie für Implantate im medizintechnischen Bereich. Durch den Kontakt mit wässrigen Medien können sich jedoch Rissnetzwerke ausbilden, die ausgehend von der Oberfläche in die innere Struktur hineinwachsen und somit die technische Nutzbarkeit stark einschränken. Daher wird am Fraunhofer IWM im Rahmen eines AiF-geförderten Projekts an der Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von unterschiedlich eingestellten Zirkonoxid-Keramiken gearbeitet, die einer derartigen hydrothermalen Degradation ausgesetzt sind.

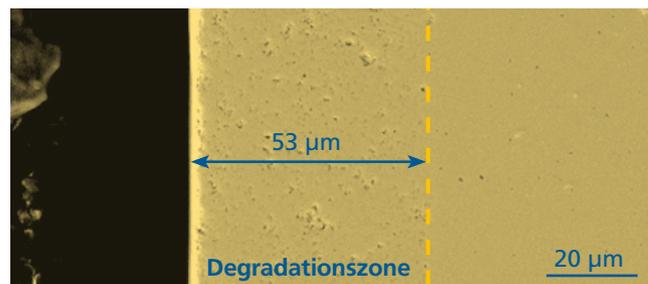
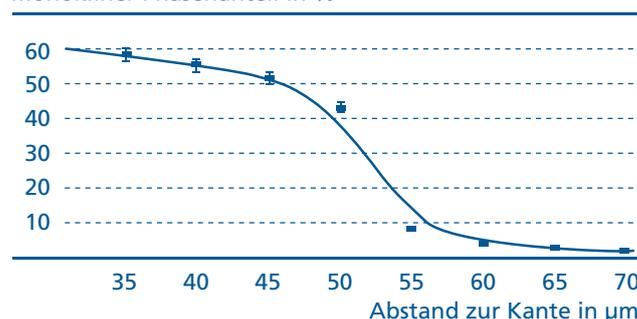
Untersuchung der Degradation

In diesem Zusammenhang ist die experimentelle Analyse der mikrostrukturellen Veränderungen ein zielführender Schritt, um den Degradationsprozess und dessen schwächende Wirkung auf den Werkstoff zu verstehen. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, lässt sich mit Elektronenmikroskopie eine rissbehaftete Zone in der Keramik nachweisen, die sich infolge einer künstlichen, hydrothermalen Belastung im Autoklaven ausbildet. Darüber hinaus wird durch lokal hochaufgelöste Raman-Spektroskopie die Umwandlung der tetragonalen Gitterstruktur in monoklines Gefüge bestimmt. Die Degradation hängt jedoch nicht nur von der Temperatur des feuchten Umgebungsmediums und der Belastungsdauer ab, sondern auch von der Mikrostruktur, die sich durch Herstellungs- und anschließende Bearbeitungsprozesse einstellen lässt. So zeigt der Vergleich zweier identisch hergestellter, jedoch ver-

schieden nachbehandelter Y-TZP-Zirkonoxid-Keramiken zwei sehr unterschiedlich ausgeprägte Rissbildungen. Infolgedessen lassen sich Gesetzmäßigkeiten über die Degradation unter definierten Bedingungen ableiten. Diese und weitere experimentell gewonnene Erkenntnisse fließen in die numerische Modellierung von komplexen Bauteilgeometrien ein und ermöglichen die Lebensdauerbewertung im technischen Einsatz.

Christian Schröder

monokliner Phasenanteil in %



1 Verteilung monokliner Phasenanteile im Werkstoffinneren (oben), elektronenmikroskopische Aufnahme der Degradationszone (unten).

DIE ETWAS ANDERE TEILCHENPHYSIK: VERSCHLEISS IN METALLISCHEN SYSTEMEN

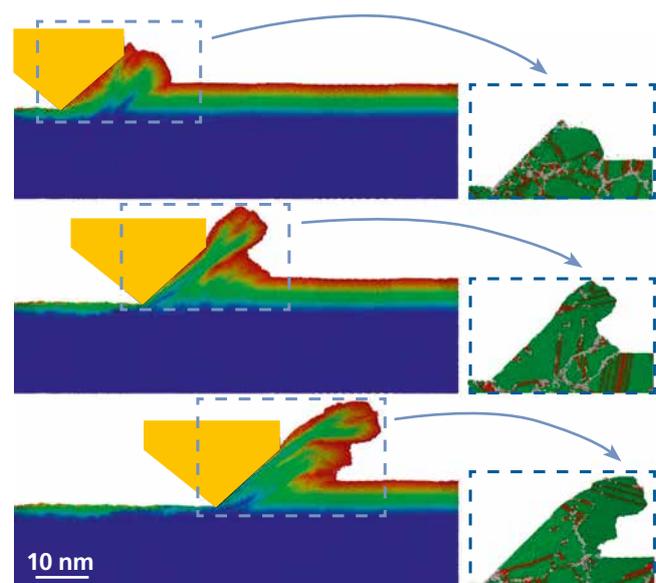
Metallische Feststoffe werden typischerweise nicht mit Fließverhalten in Verbindung gebracht. Bei tiefgehender Beschäftigung mit der Welt der Plastizität wird jedoch deutlich, dass Metalle einen plastischen Deformationsfluss aufweisen, der wie in Flüssigkeiten laminar oder turbulent sein kann. Allerdings sind die mikroskopischen Ursprünge der Oberflächenfaltung durch Störung des plastischen Fließens in polykristallinen Metallen nach wie vor ein Rätsel. Dieses Phänomen kann jedoch wichtige Auswirkungen auf Gleitverschleißprozesse in metallischen Kontakten haben. Zum Beispiel können Oxide in Falten eingewickelt werden und dann zu Bruch und Partikelbildung während der Anwendung führen (rote Konturen in Abbildung 1 links). Einblicke auf atomarer Ebene in die Oberflächenfaltung zwischen metallischen Kontakten können zum grundlegenden Verständnis der Verschleißpartikelbildung und des Metallabriebs im Allgemeinen beitragen.

Atomare Entstehung der Oberflächenfaltung

Wissenschaftler am Fraunhofer IWM haben damit begonnen, eine atomistische Beschreibung der Mechanismen in Faltungsprozessen während tribologischer Oberflächenbelastung zu liefern. Die wesentlichen atomaren Strukturen und physikalischen Mechanismen, die die Faltung bestimmen, wurden mithilfe von großen klassischen atomaren Simulationen untersucht. Simuliert wurde ein System bestehend aus einem nanokristallinen Kupfersubstrat und einem starren keilförmigen Eindringkörper, ähnlich einer harten Oberflächenrauheit. Durch das Verfolgen atomarer Trajektorien, wie in Abbildung 1 rechts gezeigt, haben die Simulationen die Entwicklung der Oberflächenfaltung durch plastisches Fließen erfasst und beschrieben. Es wurde festgestellt, dass Korngrenzen und

Defekte als Hindernisse für den plastischen Fluss wirken. Dieser kann dadurch, abhängig von der Kristallorientierung, gestoppt und in Richtung der freien Oberfläche umgelenkt werden, was zur Faltenbildung führt. An jenen »fixierten« Eckpunkten entwickeln sich die Faltrillen, an denen die Oberflächenkörner mit zunehmender Annäherung des Eindringkörpers herausgeschoben und je nach Kristallorientierung eingeschnürt werden.

Dr. Pedro Antonio Romero, Nils Beckmann



1 Entwicklung der Oberflächenfaltung gezeigt durch Färbung der ursprünglichen vertikalen atomaren Positionen (links). Kristalline Struktur der Faltungszonen: kristalline Atome grün, Korngrenzen weiß, Defekte rot (rechts).

SNOWSTORM – TRIBOLOGISCHE FORSCHUNG FÜR DIE PARALYMPICS 2014

Mit der wachsenden Anzahl der Athleten der Paralympischen Spiele nimmt auch die Professionalisierung der Sportarten zu. Um bestehende Defizite der Sportgeräte von behinderten Athleten zu verringern, entstand das Projekt »Snowstorm«. Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Herstellung eines biomechanisch sowie tribologisch optimierten und an den Behinderungsgrad angepassten Skischlittens für die Paralympics 2014. Neben dem Bundestrainer Ralf Rombach sind die Firmen Holmenkol (Skiwachs), Knoll Feinmechanik (Skischliff), Rapp und Seifert (Orthopädiemechanik), rpm (3D-Prototypenbau), Testo (Temperatur- und Feuchtemesstechnik) sowie Tetra (Tribologiemesstechnik) beteiligt. Von wissenschaftlicher Seite besteht die Zusammenarbeit mit dem Institut für Sport und Sportwissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg sowie im Designbereich mit der Universität Folkwang.

Ermittlung der biomechanischen Daten

Die biomechanischen Analysen sportlicher Bewegungen an der Universität Freiburg verknüpfen kinetische Daten wie Stockkräfte mit einer zeitlich hochauflösenden kinematischen Analyse und Muskelaktivitätsmessungen (Elektromyographie EMG). Durch diese praxisrelevante Analyse konnte die Funktionalität des Skischlittens bezüglich Sitzposition und Bewegung der Athleten optimiert werden.

Konstruktion des Skischlittens

Bisherige Skischlittendesigns basieren auf Metallrohrkonstruktionen und sind 7 bis 15 kg schwer. Ein zentraler Punkt der Reibungsverringerung und der Verringerung der Hubarbeit in Anstiegen liegt daher im Leichtbau. Von allen Leichtbaukonzepten besteht das größte Potenzial in der generativen

Fertigung. Sie ist ideal für eine schnelle und effiziente Umsetzung von Prototypen und kleine Fertigungsserien. Unter Einbeziehung biologischer Designrichtlinien wurde die Massenreduktion vorangetrieben und der Schlitten biomechanisch optimiert gefertigt (Abbildung 1). Darüber hinaus konnte der Schlitten unter Verwendung eines dreidimensionalen ergonomischen Abdrucks des quasi knieenden Athleten Martin Fleig individuell ausgelegt werden. Damit sind sowohl ergonomisch vorteilhafte als auch biomechanisch angepasste Auslegungen umgesetzt worden. Der resultierende Sitz hat nur noch ein Gewicht von 2,5 kg.

Prof. Dr. Matthias Scherge



1 Der neue, generativ gefertigte Skischlitten für den Athleten Martin Fleig.

MONITORING KALTER PLASMEN ZUR REPRODUZIERBAREN DLC-ABSCHIEDUNG

Die einzigartige Kombination aus extremer Härte, chemischer Beständigkeit, geringem Reibwiderstand und niedrigem Verschleiß macht »Diamond-like Carbon« (DLC) zu einer idealen Beschichtung für mechanisch und tribologisch beanspruchte Bauteile. Ein gängiges DLC-Depositionsverfahren ist die Plasma unterstützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD). Als problematisch erweist sich bei dieser Technik sowohl die Optimierung als auch die Übertragung der Schichteigenschaften auf unterschiedliche Substrate. Die für ein bestimmtes Schichtsystem benötigten Prozesssteuerungsparameter (Gasflussraten, Generatorleistung oder Druck) sind grundsätzlich empirisch und bauteilabhängig zu erarbeiten.

Verfahrensoptimierung mittels Prozessmonitoring

Zur Behebung dieser prozessbasierten Nachteile werden die PECVD-Prozesse des Fraunhofer IWM sowohl hochfrequenztechnisch als auch plasmaphysikalisch mittels eines eigens dafür entwickelten Plasmamonitoring detailliert analysiert. Der Leistungseintrag in das Plasma wird mithilfe von Strom- und Spannungssensoren im gesamten Anpassnetzwerk überwacht. Zusätzlich lassen sich die physikalischen Wechselwirkungen im Plasma durch die Analyse des Elektronenverschiebungstroms abbilden sowie Teilchenenergien und Teilchendichten aus den Messdaten der optischen Emissionsspektroskopie ermitteln.

Diese koinzidente Prozessfehlerdetektion gewährleistet einen homogen ablaufenden Depositionsprozess. Durch Identifikation und Evaluation der Korrelationen zwischen Prozessstellgrößen, Schichteigenschaften sowie den Hochfrequenz- und Plasmamesswerten werden prozessrelevante Schlüsselparameter ermittelt und ein verbessertes Verständnis des Beschich-

tungsprozesses ermöglicht. Das Einsatzpotenzial der daraus abgeleiteten Erkenntnisse sieht das Fraunhofer IWM in einer neuartigen, auf Hochfrequenzparametern basierenden Prozesssteuerungstechnik. Ein Prototyp befindet sich derzeit in der Testphase. Dieses Verfahren ermöglicht einen von den thermischen und kontaktspezifischen Leistungsverlusten unabhängigen Beschichtungsprozess, wodurch die Prozessreproduzierbarkeit erheblich vereinfacht wird und langfristig eine nicht empirische Schichtübertragung und Prozessskalierung realisiert werden soll.

Tobias Grotjahn, Dr. Sven Meier



1 Weiterentwickeltes Anpassnetzwerk der PECVD-Anlagentechnik sowie Benutzeroberfläche des Plasma- und HF-Monitors.

GESCHÄFTSFELDLEITER

Dr. Günter Kleer | Telefon +49 761 5142-138 | guenter.kleer@iw.fraunhofer.de

Fokus

Wir entwickeln innovative Fertigungsschritte und realisieren neue Funktionalitäten für Werkstoffe und Komponenten. Bei den Werkstoffen richtet sich unser Hauptinteresse auf Gläser, Magnetwerkstoffe, Funktionskeramiken und Schichtwerkstoffe. Im Vordergrund der Verfahrensentwicklungen stehen Materialbearbeitung, Formgebung und Strukturierung. Unser Geschäftsfeld verfügt über besondere Kompetenzen in der numerischen Simulation von Materialien und Prozessen, in der Beschichtungstechnologie und in der Heißformgebung von Gläsern. Unser Leistungsangebot richtet sich an Kunden und Entwicklungspartner aus der Glas- und Keramikindustrie, der Optik, dem Werkzeugbau und der Automobilzuliefererindustrie. Es beinhaltet experimentelle Untersuchungen und technologische Entwicklungen sowie Analysen und Optimierungen durch physikalische Werkstoffmodellierung und Multiskalensimulation.

Leistungsspektrum

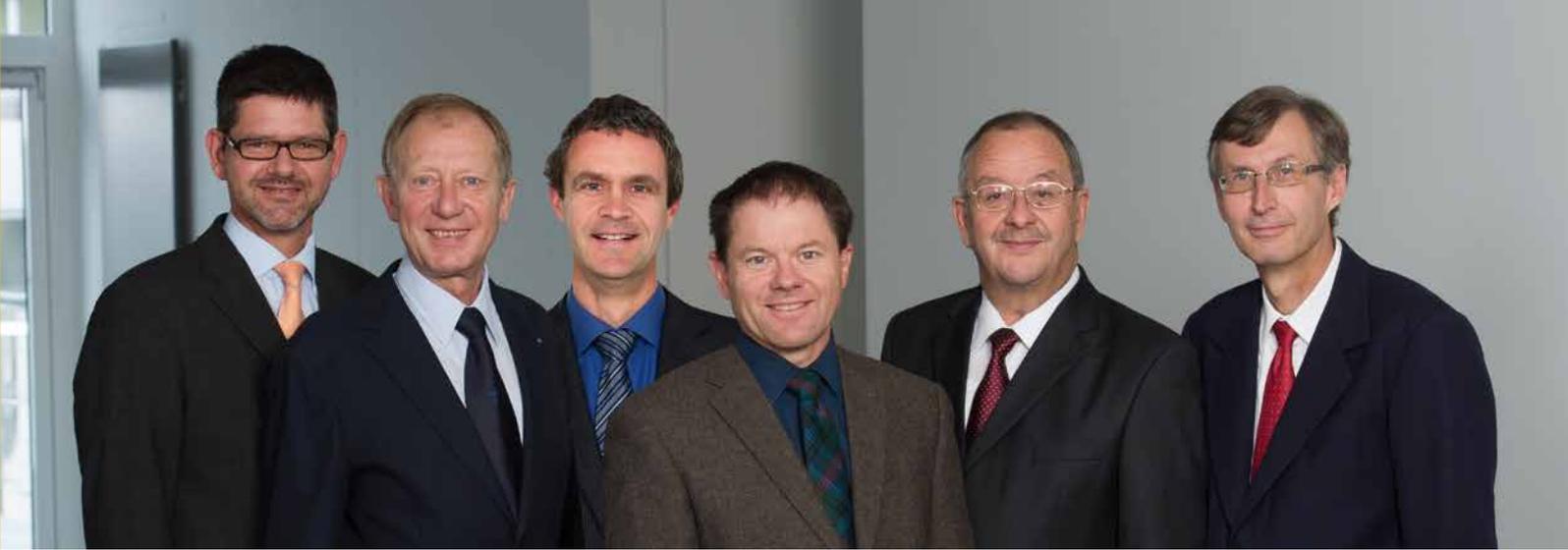
- Entwicklung von Verfahren zum schadigungsarmen Trennen, speziell von Flach- und Spezialgläsern für Architektur und Medizintechnik
- Beschichtung von Präzisionswerkzeugen für verschiedene Fertigungstechnologien: Press-, Gieß- und Prägetechniken, Präzisionsbohrungsbearbeitung
- Funktionalisierung von Oberflächen durch Beschichtung und Strukturierung
- Entwicklung schneller Heißprägetechniken für Produkte aus Gläsern und Kunststoffen
- Einsatzsicherung, Festigkeitsbewertung und Lebensdauer vorhersage für sprödbrechende Materialien
- Simulation pulvertechnologischer Prozessschritte und Prozessketten mit mikrostrukturbasierten Modellen
- Anwendung atomistischer Methoden von Molekulardynamik bis Dichtefunktionaltheorie auf Grenzflächen und Versetzungen in Metall-, Halbleiter- und Keramik-Werkstoffen

Bemerkenswertes aus 2013

Das neue flexible Biegeverfahren für Flachglas wurde weiter verbessert: Ein jeweils auf die Biegezone beschränkter Wärmeeintrag in Verbindung mit einer neuen Auflagerungstechnik für die Scheiben ermöglicht einerseits weitere Energieeinsparungen und andererseits eine höhere Präzision der gebogenen Scheiben. Ein neu entwickeltes schnelles Heißprägeverfahren von Kondensatorlinsen aus optischem Glas für Konzentrator-Solarmodule gewährleistet eine kostengünstige Herstellung solcher Optiken. Durch diese Optiken lässt sich eine gleichmäßige Intensitätsverteilung des fokussierten Sonnenlichts auf der gesamten aktiven Oberfläche der Solarzelle erzielen. Dies wirkt sich günstig auf Modul-Effizienz und Lebensdauer aus.

In einem neuen Verfahren zum Trennen von Verbundsicherheitsglas wird im ersten Schritt die im Scheibenzwischenraum befindliche Folie durch ein spezielles Laserverfahren getrennt. Das Trennen der Scheiben kann dann zeitlich unabhängig von diesem Schritt durch präzises Ritzen und Brechen oder durch thermisches Trennen erfolgen.

Magnetwerkstoffe, die den Kern von Elektromotoren und Antrieben darstellen, bilden einen wichtigen Schwerpunkt unserer Arbeiten im Bereich der Materialmodellierung und Simulation. Eine Fragestellung besteht in der systematischen Suche nach neuen magnetischen Phasen und nach neuen Magnetmaterialien, bei denen der Einsatz von strategisch ungünstigen oder sehr teuren Rohstoffen deutlich reduziert oder ganz vermieden wird. Durch speziell am Institut entwickelte Methoden auf Basis der Dichtefunktionaltheorie konnten bisher unbekannte magnetische Materialien, die gute magnetische Eigenschaften haben und gleichzeitig mit geringen Mengen an schwer verfügbaren Elementen auskommen, dargestellt werden. Um die theoretischen Vorhersagen in technologische Entwicklungen umzusetzen, arbeiten wir im Verbund mit Forschungseinrichtungen und Unternehmen der Automobilzuliefererindustrie.



Von links: Dr. Rainer Kübler, Dr. Peter Manns, Dr. Torsten Kraft, Dr. Frank Burmeister, Dr. Günter Kleer und Prof. Dr. Christian Elsässer.

Gruppen

Bearbeitungs- und Trennverfahren

Wir sind Spezialisten für spröde Werkstoffe, für die wir spezielle Bearbeitungsverfahren ideal gestalten: konturgenau bei Halbleitermaterialien und sogar verlustfrei bei anorganischen Gläsern. Für die Solarzellenfertigung entwickeln und optimieren wir verlust- und schädigungsarme Prozesse von der Ingotbearbeitung über Drahtsägen, Zellenfertigung und Verschaltung bis hin zur Modulintegration. Zudem untersuchen wir Schadensauswirkungen auf die Festigkeit von Werkstoffen und fertigen Schadensanalysen an.

Dr. Rainer Kübler

rainer.kuebler@iwf.fraunhofer.de

Heißformgebung Glas

Für die Produktion von Optikelementen und Präzisionsbauteilen aus Glas entwickeln wir Heißformgebungsverfahren und Werkzeuge und fertigen Musterbauteile bis hin zur Pilotproduktion. Schwerpunkte sind Blankpressverfahren für präzisionsoptische Linsen mit asphärischen Flächen aus optischen Gläsern, Heißprägeverfahren für mikrooptische Komponenten und mikrostrukturierte Bauteile sowie Press-, Biege- und Schneidverfahren für technische Glasartikel.

Dr. Peter Manns

peter.manns@iwf.fraunhofer.de

Funktionale Schichtsysteme

Wir entwickeln Schichten für Formgebungswerkzeuge, für die Sensorik, Medizin- und Mikrosystemtechnik sowie für die Oberflächenfunktionalisierung von Komponenten. Ein Schwerpunkt ist die Erforschung von selbstorganisierten Strukturbildungsphänomenen beim Schichtwachstum und deren gezielte Nutzung zur Steuerung von Oberflächeneigenschaften. Wir bieten umfangreiches Wissen über den

Zusammenhang zwischen Schichtabscheidparametern und -verfahren sowie den resultierenden Schichtmikrostrukturen und Eigenspannungszuständen.

Dr. Frank Burmeister

frank.burmeister@iwf.fraunhofer.de

Pulvertechnologie

Durch die Simulation von Prozessschritten wie Pressen, Trocknen, Granulieren oder Sintern tragen wir dazu bei, die Bauteilherstellung effizienter zu gestalten. Wir verbessern in dieser Weise Halbzeuge und Fertigprodukte, verkürzen Entwicklungszeiten und ermöglichen unseren Kunden, Kosten zu sparen. Neben kontinuumsmechanischen Simulationsansätzen wenden wir diskrete Partikel-Methoden an. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Simulation mikrofluidischer Systeme.

Dr. Torsten Kraft

torsten.kraft@iwf.fraunhofer.de

Physikalische Werkstoffmodellierung

Mit physikalischen Modellen und numerischen Methoden simulieren wir das Verhalten von Werkstoffen, sagen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen voraus und leisten dadurch Beiträge zur Funktionsoptimierung. Wir untersuchen Einflüsse von Materialdefekten auf das Materialverhalten und nutzen die Erkenntnisse, um technische Systeme zu verbessern. Unsere Forschungsergebnisse bilden zudem eine solide Grundlage zur Verfeinerung von Simulationsmodellen für Bauteile im großen Maßstab.

Prof. Dr. Christian Elsässer

christian.elsaesser@iwf.fraunhofer.de

HIGH-THROUGHPUT-SCREENING ZUR ENTWICKLUNG NEUER DAUER- MAGNETE

Das dynamische Wachstum der Branchen Elektromobilität und Erneuerbare Energien hat die Nachfrage nach starken Dauermagneten, die aus Seltenerdmetallen (rare earths RE) und Übergangsmetallen (TM) bestehen, deutlich erhöht. Aus der damit verbundenen Verknappung von RE-Ressourcen entstand eine materialwissenschaftliche Aufgabe: Gesucht werden neue intermetallische RE-TM-Phasen mit guten magnetischen Eigenschaften, die aus nachhaltigen und kostengünstigen Rohstoffen bestehen und weniger von einzelnen RE-Elementen abhängen.

Neue hartmagnetische Phasen suchen

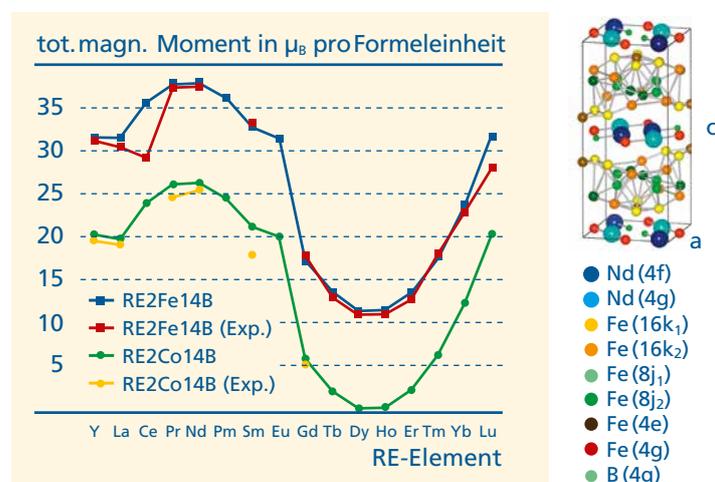
Die Kristallstrukturen der häufigsten Dauermagnete wie $Nd_2Fe_{14}B$ sind Varianten der »topologisch dicht gepackten« (TCP) Phasen. Diese TCP-Phasen bieten noch ein weites Spektrum an Suchmöglichkeiten für neue magnetische Phasen, in denen RE-Atome so mit TM-Atomen umgeben werden, dass sich große, richtungs- und temperaturstabile magnetische Momente ausbilden. Die Erweiterung der kombinatorischen Möglichkeiten von den bekannten Magnetphasen auf viel mehr denkbare TCP-Phasen ergibt ein weites Suchgebiet. Solche Magnete sollen die Lücke zwischen kostengünstigen Ferriten und $Nd_2Fe_{14}B$ -Hochleistungsmagneten füllen und dabei geringe RE-Anteile haben.

Magnetische Eigenschaften vorhersagen

Um die kombinatorische Vielzahl der RE-TM-Möglichkeiten systematisch auf gute hartmagnetische Eigenschaften hin zu durchsuchen, werden im BMBF-Projekt REleaMag der Robert Bosch GmbH, des Fraunhofer IWM und drei weiteren Partnern simulatorische und experimentelle High-Throughput-Screening-Methoden eingesetzt. Am Fraunhofer IWM werden

mit einer schnellen Methode der Dichtefunktionaltheorie (DFT) intrinsische magnetische Eigenschaften, zum Beispiel lokale magnetische Momente und effektive Austauschintegrale, für reale und hypothetische Magnetphasen berechnet beziehungsweise vorhergesagt. Viele Kristallstrukturen für TCP-Phasen als Eingabedaten für DFT-Simulationen sind aus Literaturquellen und Datenbanken verfügbar. Es konnte bereits eine erste neue RE-TM-Phase theoretisch vorhergesagt und experimentell bestätigt werden. Dies deutet auf ein hohes Erfolgspotenzial der physikalischen Werkstoffmodellierung in Bezug auf neue leistungsstarke Dauermagnete hin.

Dr. Nedko Drebov, Prof. Dr. Christian Elsässer



1 Die Kristallstruktur von $RE_2TM_{14}B$ -Verbindungen (rechts) und theoretische Resultate für deren totale magnetische Momente im Vergleich zu experimentellen Werten (links).

SCHWERPUNKT MAGNETWERKSTOFFE UND NACHHALTIGKEIT

Mit zwei neuen, gerade anlaufenden Projekten »Kritikalität Seltene Erden« und »HEUSLER – New Magnetic Materials Without Rare Earths« baut das Fraunhofer IWM seinen Arbeitsschwerpunkt zur Erforschung neuer Magnetwerkstoffe und Substitution kritischer Rohstoffe weiter aus.

Fraunhofer-Leitprojekt »Kritikalität Seltene Erden«

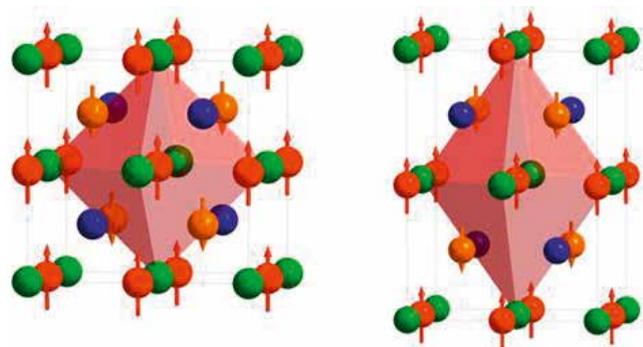
Das Fraunhofer IWM koordiniert das Projekt und erarbeitet theoretische Modelle für Magnetwerkstoffe sowie simulatorische und experimentelle Methoden für das High-Throughput-Screening. Zum einen sollen magnetische Phasen mit geringerem Mengenanteil an Seltenen Erden (rare earths RE) und darüber hinaus alternative RE-freie Magnetwerkstoffe mit neuartigen Kristallstrukturen und -kompositionen aufgespürt werden. Zum anderen sollen mikroskopische, intrinsische Ferromagnet-Eigenschaften für ideale einkristalline Phasen berechnet sowie Einflüsse von Grenzflächen und Fehlstellen in realen polykristallinen Gefügen auf makroskopische, extrinsische Dauermagnet-Eigenschaften besser aufgeklärt, und damit kontrollier- und optimierbar gemacht werden (vgl. Seite 11).

Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprojekt »HEUSLER«

Im Vordergrund stehen magnetische intermetallische Heusler-Phasen. Das Besondere dieser Materialien ist ihre erstaunliche Vielfalt an wissenschaftlich und technologisch interessanten Funktionseigenschaften (magnetisch, optisch, elektrisch, thermisch, ...). Zusammen mit den Max-Planck-Instituten für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden und für Mikrostrukturphysik in Halle wird das Fraunhofer IWM in diesem Projekt ab Anfang 2014 mit High-Throughput-

Screening-Methoden untersuchen, auf welche Weise kubische Mn- und Fe-basierte Heusler-Phasen nicht nur ferromagnetisch, sondern durch Fehlstellen, Dotierungen und Grenzflächen uniaxial anisotrop verzerrt (Abbildung 2) und damit hartmagnetisch werden. Das Ziel ist, neuartige Heusler-basierte RE-freie Dauermagnete zu entwickeln. Wir werden uns mit Methoden der Simulation darauf konzentrieren, die Rolle von Strukturdefekten für intrinsische, ferromagnetische und extrinsische, hartmagnetische Eigenschaften von Heusler-Phasen aufzuklären, um Strukturdefekte nutzbar zu machen statt sie zu vermeiden.

Prof. Dr. Christian Elsässer und Dr. Günter Kleer



2 Kristallstrukturen von Heusler-Phasen, links kubisch, rechts tetragonal verzerrt. Rote und gelbe Kugeln mit Pfeilen bezeichnen Atome mit lokalen magnetischen Momenten, grüne und blaue Kugeln unmagnetische Atome.

GLASLINSEN FÜR DIE KONZENTRIERENDE PHOTOVOLTAIK

Moderne Photovoltaik-Module (CPV), die das einfallende Sonnenlicht mittels optischer Linsen auf kleine, hoch effiziente Solarzellen konzentrieren, erreichen an geeigneten Standorten hohe Wirtschaftlichkeit. Mit den eingesetzten mehrschichtigen Solarzellen wird ein breites Spektrum des Sonnenlichts von Ultraviolett bis zu Infrarot für die Konversion in elektrische Energie nutzbar, sodass erheblich höhere Wirkungsgrade erzielt werden als mit einfachen Silizium-Solarzellen. Zur weiteren Steigerung der Effizienz und der Lebensdauer solcher CPV-Module wird eine möglichst gleichmäßige Intensitätsverteilung des fokussierten Sonnenlichts auf der gesamten aktiven Oberfläche der Solarzelle benötigt. In einem BMBF-Verbundprojekt wurden optische Elemente für die Homogenisierung der Intensitätsverteilung für den gesamten nutzbaren Spektralbereich erforscht. Dabei wurde eine domförmige Sekundärlinse entwickelt, die direkt auf die Solarzelle platziert wird. Diese Sekundärlinse erfordert eine asphärische Oberflächenkontur und muss aus Spezialglas mit hoher Transmission und Solarisationsbeständigkeit gefertigt werden. Abbildung 1 (links) zeigt schematisch den Aufbau eines konzentrierenden Photovoltaik-Moduls mit Sekundärlinse.

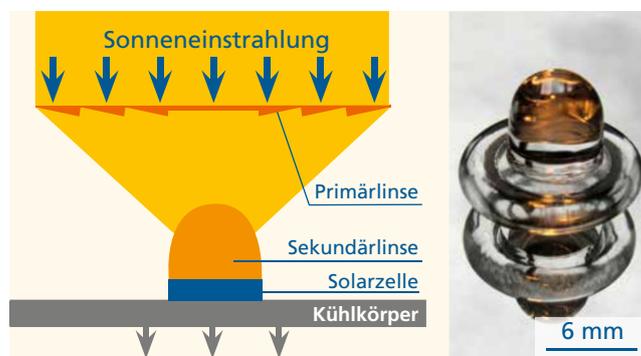
Sekundärlinsen industrietauglich herstellen

Mit den langjährigen Erfahrungen in Präzisions-Blankpressverfahren zur Fertigung von hochwertigen optischen Linsen aus verschiedenen Spezialgläsern hat sich das Fraunhofer IWM die Aufgabe gestellt, Grundlagen für ein industrietaugliches Heißformgebungsverfahren zur Herstellung von solchen Sekundärlinsen in der erforderlichen optischen Qualität und mit sehr niedrigen Produktionskosten zu erforschen.

Schnelles Heißpressverfahren

In experimentellen Untersuchungen wurde ein innovatives Konzept für ein schnelles nicht-isothermes Heißpressverfahren entwickelt und durch Herstellung von Musterlinsen verifiziert. Als Rohlinge werden zylindrische Glaskörper mit thermischen Trennflächen eingesetzt. Die gepressten Linsen haben auf den optischen Wirkflächen sehr hohe Oberflächengüte und Sauberkeit. Die Unterseite der Linsen enthält Aussparungen für die erforderlichen elektrischen Zuleitungen zur Solarzelle. In Einsatztests der Projektpartner haben die gepressten Linsen die gestellten Anforderungen an die optische Funktion vollständig erfüllt. Für den aufgezeigten Herstellungsprozess werden Produktionskosten von weniger als 0,1 € pro Linse erwartet.

Dr. Peter Manns



1 Konzentrierendes Photovoltaik-Modul (CPV) bestehend aus großflächiger Sammellinse (in Form einer flachen Fresnellinse) und kleiner Solarzelle mit direkt aufgesetzter Sekundärlinse (links). Asphärische Sekundärlinse aus optischem Glas N-BK7, hergestellt mit dem neuen Heißpressverfahren (rechts).

ELEKTROCHEMISCHE RAUSCHANALYSE ZUR SCHICHT- UND MATERIALBEWERTUNG

Analyse von Korrosionsvorgängen

Die Auswertung des elektrochemischen Rauschens (electrochemical noise EN) ermöglicht, Korrosionsraten abzuschätzen sowie zwischen flächiger Korrosion und schädlicher Muldenkorrosion oder »Lochfraß« zu unterscheiden. Zudem bietet die EN-Technologie das Potenzial zum Monitoring gefährdeter Anlagenkomponenten, um die Anzahl kostspieliger Inspektionen zu vermindern, Korrosionsmechanismen aufzuklären und die Wirksamkeit von Korrosionsschutzmaßnahmen zu bewerten.

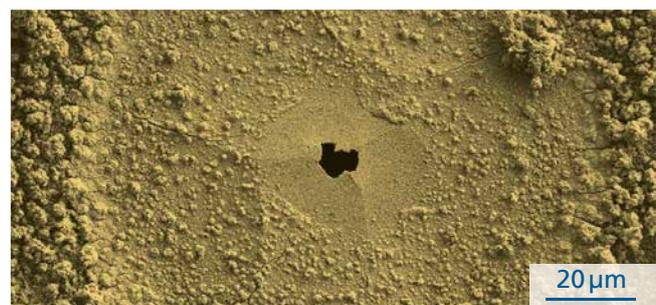
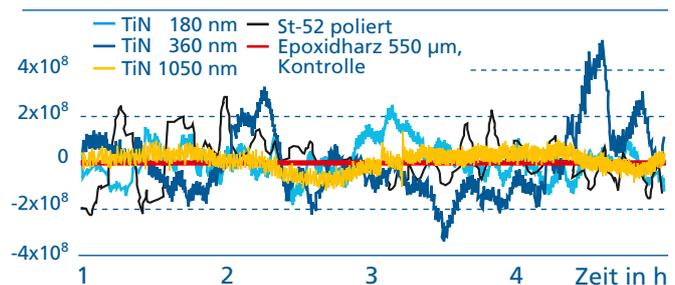
Aufklärung von Korrosionsmechanismen

Das Messprinzip der EN-Technologie beruht auf einer »Nullwiderstandsmessung« zwischen zwei identischen Elektroden aus dem zu untersuchenden Material. Beim Auftreten von Korrosionsereignissen fließen sehr kleine, transiente Ströme zwischen den Elektroden. Durch Analyse der Strom- und Spannungsfluktuationen kann auf den Korrosionsmechanismus geschlossen und die Wirksamkeit des gewählten Schutzkonzepts beurteilt werden. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse an 5 in NaCl-Lösung ausgelagerten Materialsystemen dargestellt. Gemessen wurde polierter ST52-Stahl, einmal blank und mit unterschiedlich dicker Titanitrid (TiN) Beschichtung. Zur Validierung der Methode wurde außerdem ein Probenpaar mit elektrisch isolierender Epoxidharz-Beschichtung untersucht, bei der keine Korrosionsereignisse stattfinden können (Kontrolle). Die Stromkurve der unbeschichteten Stahlprobe weist viele Transienten auf. Daraus abgeleitete Kenngrößen wie spektrale Dichte oder Rauschwiderstand deuten auf die Dominanz eines lokalen Korrosionsmechanismus hin (kritischer Lochfraß). Ein ähnliches Verhalten wurde bei zwei der drei mit TiN beschichtete-

ten Proben beobachtet: Bei den 180 und 360 nm dick beschichteten Stählen ist die Schicht nicht vollständig geschlossen. Durch vorhandene Oberflächendefekte kann Elektrolyt eindringen, die Schicht unterwandern und zu Schichtversagen führen. Nur die Schichtdicke von 1 µm ist nahezu »dicht« und bildet an der Oberfläche eine stabile Passivierungsschicht aus, die eine weitergehende Korrosion verhindert (gelbe Kurve in Abbildung 1).

Dr. Matthias Gurr, Dr. Frank Burmeister

Stromverlauf in A



1 Rauschspektren (Stromverläufe) unterschiedlich konditionierter Stahlproben (oben); REM-Aufnahme eines Korrosions-Pits (Lochfraß, 360 nm TiN auf St-52) nach der Auslagerung (unten).

PROZESSSIMULATION DES FOLIENGLIEßENS

Foliengießen ist ein Verfahren zur Herstellung dünner Keramikfolien. Grundlage ist hierbei das Keramikpulver, welches mithilfe von Lösungsmitteln und Additiven zu einem fließfähigen Gießschlicker vermischt wird. Der Formgebungsprozess findet in der Foliengießanlage statt, in welcher der Keramikschlicker kontinuierlich mit einem Förderband unter einer Rakel glattgestrichen wird. Die so erhaltene Schlickerschicht wird anschließend getrocknet.

Parameter für Folieneigenschaften

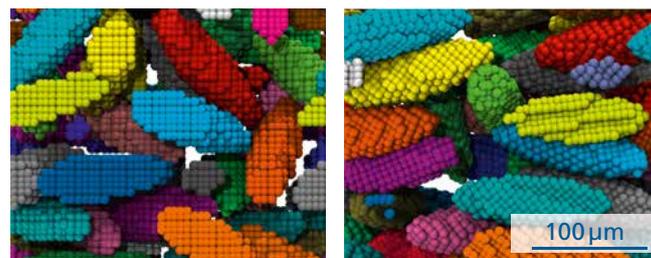
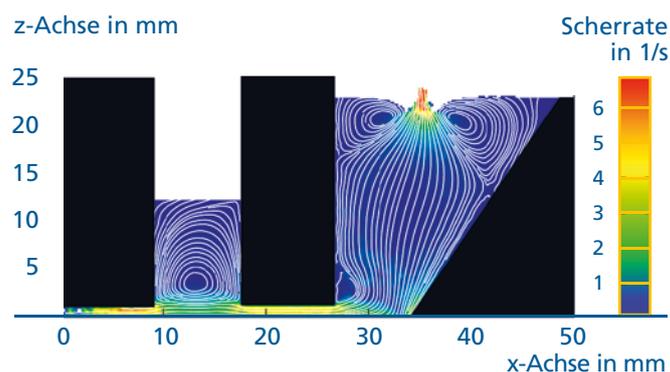
Eine Verbesserung der Produktqualität erfordert ein tiefes Verständnis der verschiedenen Prozessschritte und der dazugehörigen Einflussgrößen. Dazu ist eine Korrelation der verschiedenen Prozess- und Materialparameter mit den die Folie bestimmenden Eigenschaften erforderlich. Der Parameterraum hierfür ist sehr groß, so ist zum Beispiel das rheologische Verhalten des Gießschlickers auf die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Schlickerkomponenten auf mikroskopischer Ebene zurückzuführen. Daneben beeinflussen auch makroskopische Faktoren wie Anlagengeometrie oder Bandgeschwindigkeit sowohl die Homogenität der Folie als auch das Gefüge innerhalb der Folie.

Toträume identifizieren

Die am Fraunhofer IWM entwickelte Simulationssoftware SIMPARTIX® erlaubt es, den Foliengießprozess auf verschiedenen Größenskalen zu betrachten und über Parameterstudien die Auswirkungen der einzelnen Einflussgrößen auf die Folienbeschaffenheit zu ermitteln. Beispielhaft wurde die Strömung innerhalb eines industriellen Gießkastens unter Berücksichtigung der komplexen Gießschlicker-Rheologie simuliert und

der Einfluss der Gießkastengeometrie auf das Strömungsbild ermittelt. Dadurch konnten Toträume mit geringen Fluggeschwindigkeiten, die zu lokaler Schlickeralterung führen, identifiziert werden. Auf mikroskopischer Ebene wurde die Wechselwirkung der einzelnen Komponenten der Suspension miteinander numerisch untersucht. Dies ergab Aussagen über den Einfluss der Form der Keramikpartikel auf die Anisotropie im Grünfoliengefüge und die Viskosität der Suspension.

Pit Polfer



1 Strömlinien und Scherraten innerhalb der Gießanlage während des Prozesses (oben); Keramikpartikel in der Folie vor (links unten) und nach dem Gießen (rechts unten).

TRENNEN VON VERBUNDSICHERHEITSGLAS

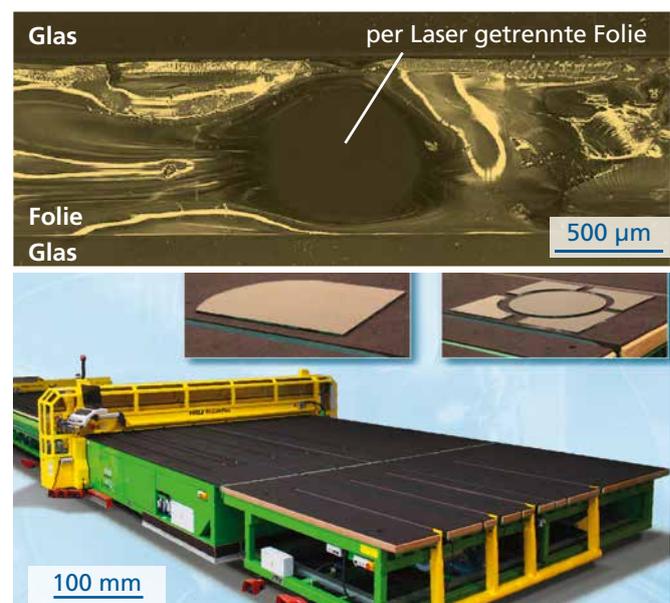
Verbundsicherheitsglas besteht meist aus zwei flachen Glas tafeln, die durch eine elastische Kunststoffolie im Inneren zu einem laminierten Verbund verarbeitet sind. Dadurch bleiben bei einem Bruch die Glasstücke an der Folie haften und bieten der Struktur dort weiterhin Stabilität. Der maschinelle Zuschnitt von Verbundsicherheitsglas hat heute durch marktgetriebene Entwicklungsfortschritte ein hohes Niveau erreicht. Dennoch ist der auf hohe Taktzeiten und gute Glaskantenqualität optimierte Zuschnitt bisher auf gerade Schnitte beschränkt. Mit dem neu entwickelten Verfahren im Auftrag des deutschen Maschinenbauunternehmens Hegla, Hersteller von Glasbearbeitungsmaschinen, werden völlig neue Möglichkeiten der Prozessführung beim Verbundsicherheitsglastrennen eröffnet.

Wissenschaftliche und technische Fragestellungen

Um Verbundsicherheitsglas zu trennen, müssen sowohl die äußeren Glastafeln als auch die Folie im Inneren getrennt werden. Das Glas lässt sich sehr effizient durch Ritzen und Brechen trennen. Dies sollte beim neuen Verfahren beibehalten werden. Die Folie im Inneren lässt sich schwieriger trennen. Sie ist eingeschlossen und äußerst zäh. Konventionell wird daher zuerst das Glas aufgebrochen, dann die Folie durch Erwärmen erweicht, um einen Spalt aufzuziehen, durch den letztlich ein Messer fährt und die Folie trennt. Das neue Verfahren verfolgt einen anderen Ansatz. Hier wird zunächst die Folie im Inneren durch Laserlicht getrennt und dann das Glas aufgebrochen. Beide Prozesse sind voneinander unabhängig und können parallelisiert werden. Ein weiterer Vorteil dabei ist, dass Laserstrahl und Ritzrad in beliebiger Form über die Glasoberfläche geführt werden können, wodurch eine

neue Freiheit beim Verbundsicherheitsglaszuschnitt erreicht wird. Das Fraunhofer IWM hat bei der Verfahrensentwicklung seine fundierten Kompetenzen zu den Werkstoffen Glas und Kunststoff, zur optischen Strahlführung von Laserlicht sowie zu fertigungstechnologischen Zusammenhängen eingebracht und das Verfahren bis zur Anwendung gemeinsam mit der Firma Hegla realisiert. Zurzeit werden zudem geeignete Laser entwickelt.

Tobias Rist



1 *Gelaserter Trennkana l in der Folie im Querschnitt, Standardfolien- dicke 0,76 mm (oben). Modellschneidanlage ProLam Plus von Hegla mit Beispielen getrennter VSG-Scheiben, Scheibendicke 8,76 mm (unten).*

GESCHÄFTSFELDLEITER

Dr. Dieter Siegele | Telefon +49 761 5142-116 | dieter.siegele@iwf.fraunhofer.de

Fokus

Wir bewerten die Sicherheit und Lebensdauer von Komponenten unter betriebsrelevanten Beanspruchungen: von schnellen Crashbelastungen bis hin zu thermozyklischen Dauerbeanspruchungen bei hohen Temperaturen, bei denen sich plastisches Werkstoffverhalten und Kriechen überlagern. Wesentliche Märkte dafür sind die Energie- und Automobilbranche sowie der Anlagen- und Maschinenbau. Zur Bewertung von Bauteilen bestimmen wir experimentell die Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von Temperatur, Beanspruchungsart und Beanspruchungsgeschwindigkeit (statisch, dynamisch und zyklisch) und bewerten rechnerisch das Verformungs- und Versagensverhalten. Zur Abbildung der werkstoffspezifischen Eigenschaften und Versagensmechanismen entwickeln wir Werkstoffmodelle und setzen sie ein.

Leistungsspektrum

- Entwicklung von Bewertungskonzepten für Kraftwerkskomponenten und Maschinenbauteile
- Bruchmechanische Sicherheitsanalysen, Bewertungen der Fehlertoleranz sowie Traglastberechnungen für hochbelastete und sicherheitsrelevante Bauteile
- Charakterisierung von Werkstoffen und Bauteilen von statischen, über thermomechanischen bis hin zu schlagartigen, dynamischen, praxisrelevanten Belastungen
- Lebensdauermodelle für Hochtemperaturkomponenten der Fahrzeug- und Kraftwerksindustrie
- Lebensdauerbewertungen für Schweißverbindungen
- Crashsimulation von Automobilkomponenten mit maßgeschneiderten Werkstoffmodellen
- Bewertung von Schweiß- und Hybridfügeverbindungen unter Crashbelastung
- Charakterisierung und Modellierung von Kunststoffen und Klebeverbindungen unter Crashbelastung

Bemerkenswertes aus 2013

Die Anforderungen an zukünftige Fahrzeuge sind vielfältig: Senkung von Gewicht und Energieverbrauch verbunden mit hoher Sicherheit und Funktionalität. Auch Fügeverbindungen gewinnen im Automobilbau zunehmend an Bedeutung. Diese Anforderungen können nur mit neuen Werkstoffen und Komponenten erfüllt werden, die für die entsprechenden Funktionen im Fahrzeug maßgeschneidert entwickelt und eingesetzt werden. Dabei müssen unterschiedliche Materialien durch geeignete Techniken miteinander verbunden werden, wobei an die Festigkeit solcher Verbindungen höchste Anforderungen gestellt werden.

Bedingt durch die Zunahme der Forschungsaufgaben auf diesem Gebiet haben wir 2013 eine neue Gruppe »Fügeverbindungen« gegründet. Sie hat zum Ziel, Fügeverbindungen bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften zu charakterisieren und im Hinblick auf das Verformungs- und Versagensverhalten zu bewerten. Ein besonderer Schwerpunkt ist dabei die Ersatzmodellierung von Fügeverbindungen für die Crashsimulation, da nur über eine solche Modellierungstechnik ganze Fahrzeugstrukturen rechnerisch analysiert werden können. Ein weiterer Schwerpunkt der Gruppe ist die rechnerische Schweißsimulation mit dem Ziel, Gefüge-, Verzug- und Eigenspannungen vorherzusagen.

Die Bewertung von Schweißverbindungen hat sich in den letzten Jahren als wichtiges Forschungsthema im Geschäftsfeld etabliert. Im Vordergrund stehen dabei die Analyse von Schweißspannungen und deren Einfluss auf die Schwingfestigkeit geschweißter Konstruktionen. Mit geeigneten Werkstoffmodellen und lokalen Schädigungskonzepten kann die Veränderung von Schweißspannungen infolge der Belastung analysiert und deren Einfluss auf die Schwingfestigkeit ermittelt werden. Die Frage der Stabilität von Eigenspannungen soll in künftigen Vorhaben vertiefend untersucht werden.



Von links: Dr. Christoph Schweizer, Dr. Dieter Siegele, Dr. Silke Sommer und Dr. Dong-Zhi Sun.

Gruppen

Anlagensicherheit, Bruchmechanik

Mit experimentellen und rechnerischen Methoden, insbesondere der Bruch- und Schädigungsmechanik, analysieren wir das Werkstoff- und Bauteilverhalten unter statischer, zyklischer sowie dynamischer und stoßartiger Belastung. Zudem bewerten wir die Sicherheit und Lebensdauer von Komponenten. Besondere Bedeutung spielt die Festigkeitsbewertung von Schweißverbindungen, bei denen das Schweißgefüge, die Schweißzugspannungen und die Schweißnahtgeometrie berücksichtigt werden müssen.

Dr. Dieter Siegele

dieter.siegele@iwm.fraunhofer.de

Crashsicherheit, Schädigungsmechanik

Für die Crashsimulation entwickeln und implementieren wir Werkstoff- und Versagensmodelle und wenden sie an. Wir führen Werkstoffcharakterisierungen und Bauteilprüfungen zur Kalibrierung und Überprüfung von numerischen Modellen mit speziellen Versuchstechniken durch. Zudem berücksichtigen wir bei Komponentensimulationen die Einflüsse von Fertigungsprozessen auf das Materialverhalten.

Dr. Dong-Zhi Sun

dong-zhi.sun@iwm.fraunhofer.de

Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik

Durch mechanismenbasierte Werkstoff- und Lebensdauermodelle für thermomechanische Ermüdungsbelastung ermöglichen wir verlässliche Vorhersagen in Bauteilsimulationen. So können wir für unsere Kunden Entwicklungskosten und -zeit einsparen und gleichzeitig die Bauteilgeometrie optimieren.

Dr. Christoph Schweizer

christoph.schweizer@iwm.fraunhofer.de

Fügeverbindungen

Wir charakterisieren Fügeverbindungen bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften und bewerten sie im Hinblick auf ihr Verformungs- und Versagensverhalten. Dabei ist die Ersatzmodellierung von Fügeverbindungen für die Crashsimulation ein spezieller Schwerpunkt, da nur so ganze Fahrzeugstrukturen rechnerisch analysiert werden können. Ein weiterer Schwerpunkt der Gruppe ist die Vorhersage von Gefüge-, Verzug- und Eigenspannungen mithilfe der rechnerischen Schweißsimulation.

Dr. Silke Sommer

silke.sommer@iwm.fraunhofer.de

ERMÜDUNGSVERHALTEN AUSTENITISCHER WERKSTOFFE: BESSERES WERKSTOFFMODELL

Austenite zeichnen sich durch hohe Zähigkeit und gute Korrosionsbeständigkeit aus und werden daher häufig als Werkstoffe für Rohrleitungen oder Plattierungen in Kraftwerken eingesetzt. Weiterhin weisen sie bei plastischer Verformung ein komplexes Ver- und Entfestigungsverhalten sowie die Möglichkeit von Martensitbildung auf, deren Entstehung von Temperatur, Belastungshöhe und Belastungsrate abhängig ist. Dadurch kann der Werkstoff zusätzlich verfestigen, was jedoch mit einer Abnahme der Zähigkeit verbunden ist.

Lebensdaueranalysen für austenitische Komponenten hängen maßgeblich von der Qualität der eingesetzten Werkstoffmodelle ab. Das Ziel zweier von BMWi und BMBF geförderten Vorhaben war, experimentell und rechnerisch das Ermüdungsverhalten von Austenit unter Berücksichtigung von Ver- und Entfestigungsvorgängen vertieft zu analysieren. Aus den Erkenntnissen wurden verbesserte Werkstoffmodelle entwickelt, mit denen eine realitätsnahe Lebensdaueranalyse für austenitische Komponenten unter zyklischer Wechsellastifizierung möglich ist.

Werkstoffmodell

Zur Beschreibung der thermomechanischen Ermüdung ist am Fraunhofer IWM ein Werkstoffmodell im Einsatz, das aus einem Verformungsmodell zur Beschreibung des viskoplastischen Deformationsverhaltens und einem Schädigungsmodell besteht, das das Wachstum kleiner mikrostruktureller Fehler bis zum technischen Anriss beschreibt. Dieses Modell wurde durch die Entwicklung des Martensitanteils im Material mit wachsender akkumulierter plastischer Dehnung sowie durch eine von der Dehnungsamplitude abhängigen zyklischen Verfestigung erweitert. Abbildung 1 zeigt, dass mit der erweiter-

ten Verfestigungsfunktion die Maximalspannung der Spannungs-Dehnungs-Hysteresee bei allen Zyklenzahlen und Dehnungsamplituden gut beschrieben werden kann.

Thermische Ermüdung

Mit dem neuen Werkstoffmodell lässt sich die Ermüdungsfähigkeit für austenitische Komponenten unter thermomechanischer Beanspruchung zuverlässig berechnen. Eine Besonderheit bilden hochfrequente thermische Belastungen, wie sie bei Mischungsvorgängen in Rohrleitungen auftreten können. Hier kann es zu großen Temperatur- und Spannungsgradienten im oberflächennahen Bereich kommen, welche die Rissbildung und das Risswachstum maßgeblich beeinflussen. Zur Untersuchung des Schädigungsverhaltens unter solch hochfrequenter thermischer Ermüdung wurde eine Prüfvorrichtung entwickelt, in der eine Rundprobe kontinuierlich erwärmt und über eine seitlich positionierte Düse mit einem Wasser-Luft-Gemisch zyklisch thermisch belastet wird. Mit der Prüfvorrichtung wurden Versuche mit Temperaturdifferenzen zwischen 100 und 300 °C und Prüffrequenzen von 0,1 bis 1 Hz durchgeführt.

Risse und Gleitlinien

Es zeigt sich, dass Versuche bis 1 Million Zyklen mit Temperaturschwingbreiten von 100 oder 150 °C keine Rissbildung zeigen, während Versuche mit Temperaturschwingbreiten von 200 °C oder höher nach einer ausreichenden Anzahl von Zyklen Risse oder Gleitlinien auf der Oberfläche induzieren. Dabei bilden sich im angesprützten Bereich immer mehrere Risse gleichzeitig. Der längste Riss betrug etwa 1,3 mm und trat bei einer Temperaturschwingbreite von 300 °C und bei 0,5 Hz nach 1 Million Zyklen auf (große Abbildung, rechte

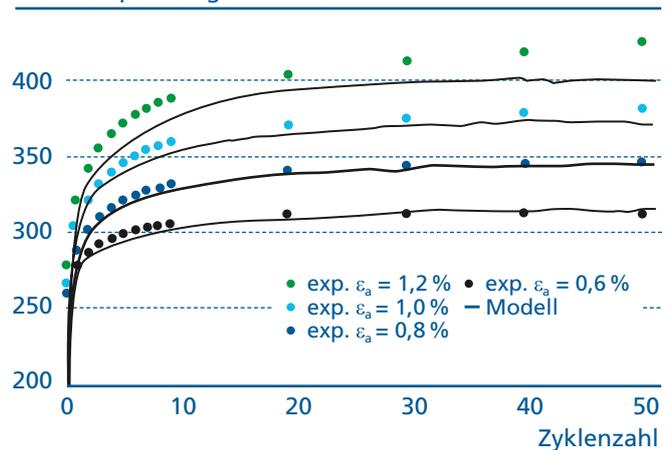


Mehrfachrisse bei thermischer Ermüdung.

Seite oben). Aufgrund des Spannungsgradienten zeigt sich bei kleiner Risttiefe ein schnelles Risswachstum, das sich aber bei großen Risttiefen bis zum Rissstopp verzögert. Die berechneten Verläufe werden durch die gemessenen Risslängen bestätigt. Wie Abbildung 2 zeigt, werden alle Versuchsergebnisse für mechanische (LCF), thermomechanische (TMF) und thermische (TF) Ermüdung mit dem neuen Werkstoffmodell sehr gut beschrieben. Bei den thermischen Versuchen mit größerem Risswachstum wird die im Versuch erreichte Lebensdauer rechnerisch überschätzt. Dies ist vermutlich dadurch bedingt, dass im Experiment Mehrfachrisse auftreten, welche die Beanspruchungen der Einzelrisse abschirmen können, was im Rechenmodell bisher nicht berücksichtigt ist.

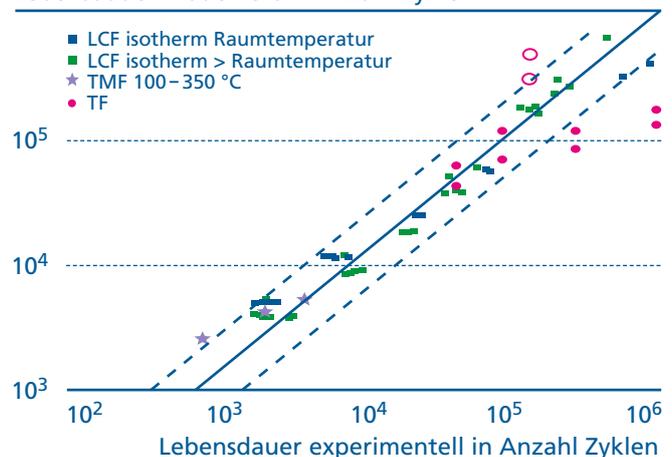
Dr. Judith Fingerhuth, Dr. Dieter Siegele

Maximalspannungen in MPa



1 Maximalspannung als Funktion der Zyklenzahl für unterschiedliche Dehnungsamplituden.

Lebensdauer modelliert in Anzahl Zyklen



2 Lebensdauer bei mechanischer (LCF), thermomechanischer (TMF) und thermischer (TF) Ermüdung.

CRASHSICHERHEIT VON DICKWANDIGEN ALUMINIUMPROFILIEN

Dickwandige stranggepresste Aluminiumprofile werden häufig im Fahrzeugbau, insbesondere bei Schienenfahrzeugen verwendet. Aufgrund unterschiedlicher lokaler Deformationsgrade, Temperaturen und Abkühlgeschwindigkeiten beim Herstellungsprozess sind die mechanischen Eigenschaften in einem dickwandigen Aluminiumprofil sehr inhomogen. Bei der Crashsimulation müssen die Einflüsse der Wanddicke und der Orientierung auf das Verformungs- und Versagensverhalten sowie die Abhängigkeit des Bruchverhaltens vom Spannungszustand mit entsprechenden Werkstoffmodellen und numerischen Techniken zuverlässig und effizient nachgebildet werden. Im Rahmen eines von der AiF geförderten Vorhabens wurden dazu am Fraunhofer IWM experimentelle und numerische Untersuchungen für ein dickwandiges Aluminiumprofil aus EN AW 6005A T6 (Abbildung 1) durchgeführt.

Ermittlung lokaler Materialdaten für unterschiedliche Spannungszustände

Zur Charakterisierung der Orts- und Orientierungsabhängigkeit der Fließspannung und der Bruchdehnung wurden Flachzugproben aus verschiedenen Positionen mit unterschiedlichen Wandstärken und in unterschiedlichen Orientierungen entnommen und geprüft. Tendenziell nimmt die Fließspannung mit zunehmender Wanddicke ab. Zusätzlich hängt die Spannungs-Dehnungskurve von der Entnahmeposition in der Dickenrichtung ab. Die Festigkeitskennwerte und die Bruchdehnung nehmen von der Wandmitte zum Rand hin ab. Die Bruchdehnung hängt stark von der Orientierung ab und ist für die Längs- und vor allem Diagonalrichtung fast doppelt so hoch wie für die Querrichtung. Zur Variation des Spannungszustands wurden Kerbzug-, Scherzug-, Torsions- und

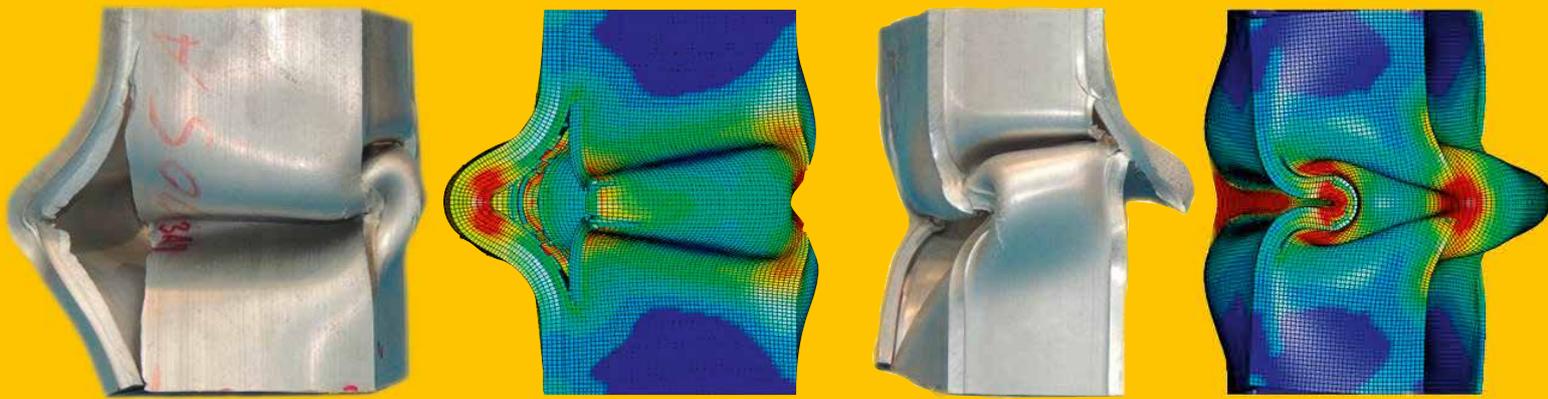
Biaxialzugversuche durchgeführt (Abbildung 2). Dafür wurden zum Teil neue Probenformen entwickelt, zum Beispiel für Torsions- und Biaxialzugbelastung.

Modellierung von Anisotropie und Versagen

Zur Beschreibung des anisotropen Verformungsverhaltens in der numerischen Simulation wurde ein Werkstoffmodell nach Barlat verwendet. Die Anpassung der Anisotropieparameter des Modells erfolgte mithilfe der r -Werte und der Fließspannungen aus Zugversuchen längs, diagonal und quer zur Extrusionsrichtung. Die Orientierungsabhängigkeit der Fließspannung wurde mit dem anisotropen Materialmodell nach Barlat in guter Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen berechnet (Abbildung 1). Das verwendete Versagensmodell basiert auf einer vom Spannungszustand abhängigen Bruchdehnung und erlaubt die Beschreibung des Werkstoffversagens durch Scher- und Wabenbruch. Durch Anpassung der numerischen Ergebnisse an die experimentell ermittelten Bruchverschiebungen wurden die lokalen Bruchdehnungen für unterschiedliche Mehrachsigkeiten, die Spannungszustände charakterisieren, ermittelt. Daraus wurde eine Versagenskurve für die Komponentensimulation bestimmt (Abbildung 2).

Komponentenversuche und -simulation

Zur Validierung der Simulationsmethode wurden statische Stauch- und Biegeversuche an Profilabschnitten mit reduzierten Querschnitten (2 und 4 Kammern) durchgeführt. Die Wanddicken lagen dabei zwischen 4 und 10 mm. Bei den Stauchversuchen variierte die Position der Instabilität entlang des Profils aufgrund des gleichbleibenden Querschnitts in axialer Richtung, da keine Triggerung am Profil



40 mm

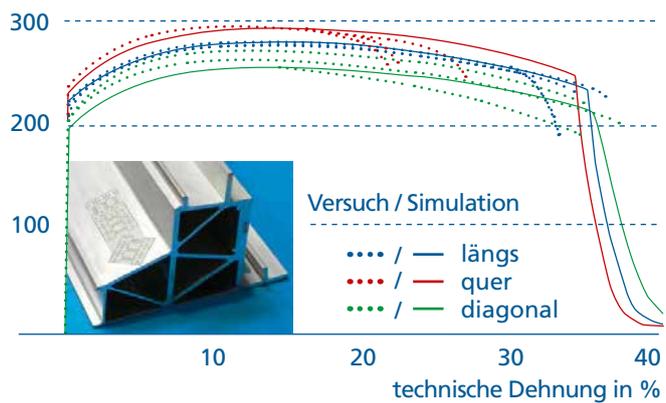
Vergleich des Verformungs- und Versagensverhaltens eines gestauchten Profilabschnitts in Versuch und Simulation.

vorgenommen wurde. Bei Biegeversuchen traten Risse in Längsrichtung unter dem Stempel auf.

Für die Komponentensimulation wurde die Elementgrößenabhängigkeit der Versagenskurve durch eine Regularisierungsmethode berücksichtigt. Die Ortsabhängigkeit der Fließspannung wurde durch Bereiche mit unterschiedlichen Materialeigenschaften realisiert. Die Komponentensimulationen liefern eine gute Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten Kraft-Wegverläufen. Auch die in den Versuchen beobachtete Faltenbildung und Versagensentwicklung wird mit dem Simulationsmodell hinreichend gut abgebildet (Abbildung oben). Mit dem entwickelten Simulationsmodell kann die Crashtauglichkeit eines dickwandigen Aluminiumprofils schon vor der Fertigung nachgewiesen werden.

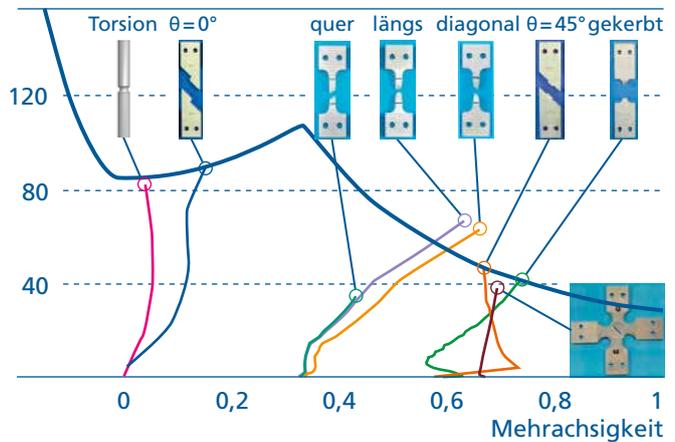
Dr. Dong-Zhi Sun, Andrea Ockewitz

technische Spannung in MPa



1 Gemessene und berechnete technische Spannungs-Dehnungskurven für glatte Flachzugproben in drei Orientierungen.

Bruchdehnung in %



2 Versagenskurve für EN AW 6005A T6 (dicke blaue Kurve) mit Bruchpunkten aus Experiment und Simulation (Kreise) und Lastpfaden aus Simulation (dünne farbige Kurven).

LEBENSDAUERVORHERSAGE VON KOMPONENTEN AUS INCONEL 718

Scheiben von Gasturbinen unterliegen aufgrund häufiger An- und Abfahrvorgänge hohen thermomechanischen Ermüdungsbeanspruchungen. In kritischen Bereichen können sich früh Mikrorisse bilden, deren Wachstum die Lebensdauer der Komponenten bestimmen. Die Kenntnis des Risswachstums ist wichtig, um zum einen die Bauteilsicherheit sowie die korrekte Festlegung von Inspektionsintervallen sicherzustellen und zum anderen eine optimale Bauteilauslegung und somit einen effizienten Betrieb zu gewährleisten. Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen geförderten Projekts erfolgte die Untersuchung des Mikrorisswachstums unter thermomechanischer Beanspruchung an Inconel 718, einem weit verbreiteten Scheibenwerkstoff für Gasturbinen. Dabei wurde ein Risswachstumsmodell weiterentwickelt, um eine rechnerische Lebensdauervorhersage von Komponenten aus Inconel 718 zu ermöglichen.

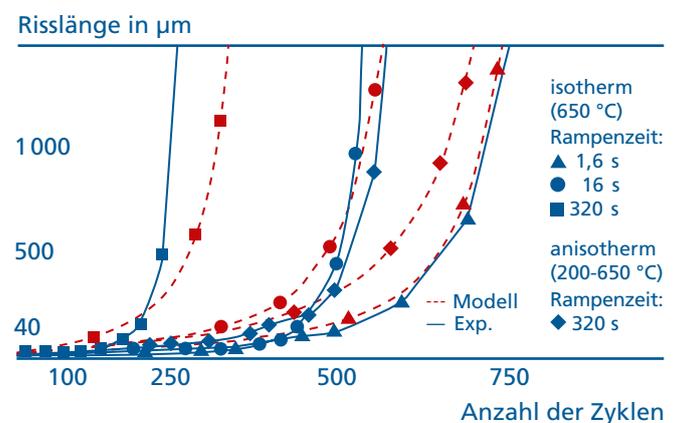
Messung des zeitabhängigen Mikrorisswachstums

Zur Ermittlung des Mikrorisswachstums wurden Laborproben unter isothermen und anisothermen Bedingungen zyklisch belastet. Die Erfassung des Risswachstums erfolgte mit der Replikatechnik, bei der in regelmäßigen Abständen Folienabdrücke der Probenoberfläche angefertigt werden. Die Proben wurden mit unterschiedlichen Rampenzeiten belastet, um die Zeitabhängigkeit des Risswachstums festzustellen. In Abbildung 1 zeigen die durchgezogenen Linien den Verlauf der experimentell gemessenen Risslänge. Hohe Rampenzeiten führen zu einer beschleunigten Rissausbreitung.

Lebensdauermodell

Zeitabhängige Effekte bei der Rissausbreitung lassen sich auf Kriech- und Umgebungseinflüsse zurückführen. Für eine analytische Beschreibung des Risswachstums wurde ein bestehendes Risswachstumsmodell erweitert, um umgebungsbedingte Schädigungseinflüsse bei der Ermüdungsrissausbreitung zu berücksichtigen. In Abbildung 1 stellen die gestrichelten Linien die mit dem Modell berechneten Verläufe dar. Die Zeitabhängigkeit der Rissausbreitung lässt sich mit dem Modell gut abbilden, sodass eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten erreicht wird.

Michael Schlesinger, Dr. Christoph Schweizer



1 Zeitabhängiges Risswachstum bei zyklischer Beanspruchung von Proben mit unterschiedlichen Rampenzeiten und gleicher mechanischer Belastungsamplitude.

MODELLIERUNG VON STANZNIETVERBINDUNGEN

Die mechanische Fügechnik bietet gegenüber der thermischen den Vorteil, dass auch Mischverbindungen aus artver- schiedenen Werkstoffen prozesssicher realisiert werden können, ohne dass die positiven Werkstoffeigenschaften durch thermische Beeinflussung herabgesetzt werden. Folglich wird im Automobilbau zur Realisierung des Multi-Material-Mixes eine Vielzahl mechanischer Verbindungstechniken wie das Halbhohlstanznieten und das Direktverschrauben eingesetzt. Für den effektiven Einsatz dieser Fügechniken, insbesondere in crashrelevanten Bereichen, fehlten jedoch bislang Simulationsmodelle und Verbindungskennwerte, die eine Vorhersage über das Tragverhalten dieser Verbindungen unter Crashbelastung ermöglichen. In einem AiF/FOSTA-Projekt mit LWF Paderborn und GFal Berlin wurde ein Ersatzmodell für Halbhohlstanznietverbindungen entwickelt – eine Vorgehensweise zur Bestimmung deren Parameter aufgezeigt und durch Simulationen von Bauteilversuchen validiert werden.

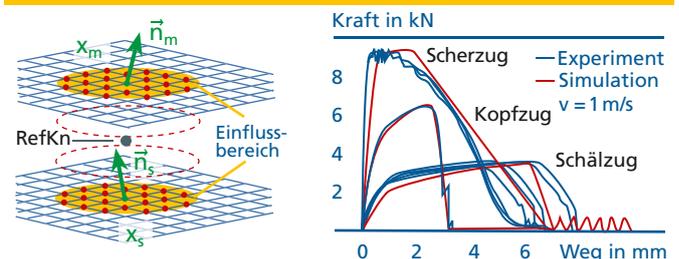
Entwicklung und Validierung eines Ersatzmodells

Die Entwicklung des Constrained-SPR3-IWM-Modells beruht auf Simulationsergebnissen mit Finite-Elemente Detailmodellen einer Halbhohlstanznietverbindung, mit denen das abzubildende Deformations- und Versagensverhalten der Verbindung analysiert wurde. Das Detailmodell wurde durch eine Prozesssimulation des Stanznietens sowie durch Schlibbilder erstellt und unter verschiedenen Kopfzug-Scherzugbelastungen virtuell geprüft. Die Untersuchung des Versagens unter Biege- im Vergleich zur Kopfzugbelastung führte zur Einführung einer Variablen, die die Symmetrie der Belastung in Umfangs- richtung beschreibt. Damit kann die im Detailmodell beobachtete Abnahme der Verbindungstragfähigkeit im Fall einer

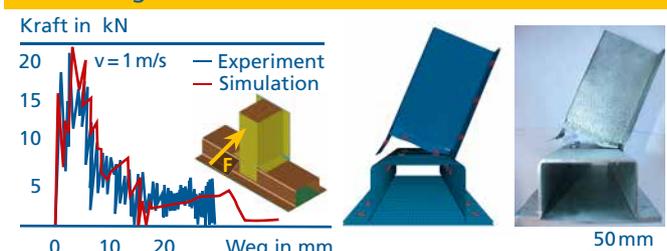
unsymmetrischen beziehungsweise einseitigen Nietbelastung wie unter Biegung abgebildet werden. Um mögliche Dehnrateneffekte auf die Verbindungstragfähigkeit und das Versagen zu modellieren, wurde ein linearer Ansatz zur Abbildung von Dehnrateneffekten implementiert. Die Validierung dieses Ersatzmodells erfolgte durch Simulation von Versuchen an stanzgenieteten Bauteilen. Dieses weiterentwickelte Ersatzmodell für Stanznietverbindungen ist für den Einsatz in Fahrzeug-Crashsimulationen geeignet und wird aktuell in den Entwicklungsprozess eingebaut.

Matthias Bier, Dr. Silke Sommer

Ersatzmodell/Parameteridentifikation



Validierung



1 Vorgehensweise zur Kalibrierung und Validierung eines Ersatzmodells für Stanznietverbindungen für die Crashsimulation.

GESCHÄFTSFELDLEITER

Dr. Wulf Pfeiffer | Telefon +49 761 5142-166 | wulf.pfeiffer@iw.fraunhofer.de

Fokus

Wir bewerten und optimieren Fertigungsschritte und charakterisieren das Festigkeits- und Einsatzverhalten von Werkstoffen, Werkstoffverbunden und Bauteilen. Dazu entwickeln wir geeignete experimentelle und numerische Methoden. Wir erarbeiten Lösungen zur Auswahl und Substitution konventioneller Werkstoffe mithilfe von Simulation und experimenteller Aufklärung der Mikrostruktur. Wir untersuchen die Änderungen der Mikrostruktur bei Betriebsbeanspruchungen und durch die Herstellungsprozesse, beispielsweise durch formgebende Verfahren oder Umformung. Unsere Kunden sind Hersteller von Werkstoffen, Halbzeugen und Maschinenelementen oder kommen aus dem Maschinen-, Automobil- und Anlagenbau.

Leistungsspektrum

- Mikrostruktur- und Schadensanalysen, Gutachten
- Wasserstoffgehaltmessungen, Ermittlung von Diffusionskoeffizienten metallischer Werkstoffe auch unter Einfluss mechanischer Spannung
- Virtuelles Werkstoffdesign für Verbundwerkstoffe mit Polymer-, Keramik- und Metallmatrix sowie mit eingelagerten PZT-Aktoren und -Sensoren
- Experimentelle und numerische Charakterisierung und Bewertung des Festigkeits-, Ermüdungs- und Rissfortschrittsverhaltens von (Verbund-)Werkstoffen und Bauteilen unter Einsatzbedingungen
- Simulation und Ermittlung von Eigenspannungen, Verzug und Mikrostruktur sowie der Wasserstoffdiffusion beim Schweißen und in der Wärmebehandlung
- Simulation und Ermittlung der Gefüge-, Textur- und Schadensentwicklung bei Formgebungs- und Umformprozessen
- Ermittlung thermophysikalischer Kennwerte und thermomechanischer Umwandlungsschaubilder
- Steigerung der Randschichtfestigkeit spröder Werkstoffe durch mechanische Behandlung

Bemerkenswertes aus 2013

Mit langjähriger Erfahrung ermitteln wir Eigenspannungen in metallischen und keramischen Werkstoffen, die bei der Bauteil-Auslegung und beim Herstellprozess einen wichtigen Faktor darstellen. Bei Strukturbauteilen aus Faserverbundwerkstoffen können röntgenografische Verfahren aufgrund des weitgehend nichtkristallinen Aufbaus nicht ohne weiteres angewandt werden. In Voruntersuchungen wurde daher das inkrementelle Bohrlochverfahren für die Eigenspannungsermittlung in solchen inhomogenen und anisotropen Werkstoffen qualifiziert. Die Nutzung weiterer Verfahren wie das Schlitzverfahren, die Ringkernmethode und verschiedene Zerlegungsmethoden wird derzeit in einem laufenden Forschungsvorhaben untersucht.

Die Möglichkeit der Qualifizierung von Werkstoffen und Bauteilen für den Einsatz unter kombinierten mechanischen, thermischen und korrosiven Bedingungen wurde 2013 um wichtige Prüfmethoden erweitert. Die SSRT-Prüfeinrichtungen (slow strain rate testing) für korrosive Medien wie 560 °C heiße Salzschmelzen wurden in Betrieb genommen und Strömungskammern realisiert, die auch eine Prüfung mit teilkristallisierten Schmelzen erlauben. Damit können wesentliche Schädigungsmechanismen, wie sie in solarthermischen Kraftwerken vorkommen, im Labor nachgestellt werden.

Die Simulation makroskopischer Eigenschaften von Werkstoffen durch Mikrostrukturmodelle etabliert sich zunehmend in unseren Forschungsvorhaben. Im virtuellen Labor bilden wir komplette Fertigungsketten ab und realisieren so die schrittweise Entwicklung der Mikrostruktur bis zur Ableitung der daraus resultierenden technologischen Kennwerte des Bauteils. Dabei betrachten wir unterschiedliche Anwendungsgebiete und Werkstoffklassen: Beispielsweise analysieren wir richtungsabhängige Eigenschaften von Blechwerkstoffen, von langfaserverstärkten Kunststoffen und von generativ gefertigten Nickelbasislegierungen.



Von links: Dr. Michael Luke, Dr. Chris Eberl, Dr. Wulf Pfeiffer, Dr. Jörg Hohe und Dr. Dirk Helm.

Gruppen

Mikrostruktur- und Schadensanalyse

Wir untersuchen den Einfluss der Herstellung und des Einsatzes auf die Mikrostruktur von Werkstoffen. Wir klären temperatur- und verformungsbedingte Gefügeveränderungen sowie Degradationsmechanismen der Korrosion, Spannungsrisskorrosion und Wasserstoffversprödung auf. Dafür setzen wir experimentelle Methoden wie Permeationsprüfungen sowie numerische Methoden wie die Simulation der Gefügeentwicklung ein. Bei akuten Schadensfällen ermitteln wir die Ursache des Versagens.

Dr. Wulf Pfeiffer

wulf.pfeiffer@iwf.fraunhofer.de

Ermüdungsverhalten, Eigenspannungen

Mithilfe experimenteller und numerischer Methoden (FEA) bewerten wir das mechanische Verhalten von Werkstoffen, Werkstoffverbunden und Bauteilen unter statischer und zyklischer Belastung. Die von uns bearbeiteten Werkstoffverbunde bestehen beispielsweise aus verschiedenen Metallen, Faserverbundkunststoffen, thermoplastischen Tapes und Kunststoff-Metall-Hybridverbunden. Wir führen Eigenspannungs- und Verzugsanalysen durch und entwickeln Konzepte zur Beeinflussung des Eigenspannungszustands.

Dr. Michael Luke

michael.luke@iwf.fraunhofer.de

Verbundwerkstoffe

Wir untersuchen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Verbundwerkstoffen wie Polymer-, Keramik- und Metall-Matrizes, um das Einsatz- und Versagensverhalten zu bewerten. Unsere werkstoffgerechten Prüfkonzepte berücksichtigen die Materialmikrostruktur sowie die Umgebungs- und Beanspruchungs-

bedingungen. Mit numerischen Simulationsmethoden sagen wir das Verformungs-, Spannungs- und Versagensverhalten von Werkstoffen und Bauteilen voraus und optimieren deren Aufbau.

Dr. Jörg Hohe

joerg.hohe@iwf.fraunhofer.de

Formgebungs- und Umformprozesse

Umformwerkzeuge und -prozesse können mithilfe der numerischen Simulation wesentlich schneller und kostengünstiger ausgelegt werden als durch Versuch und Irrtum. Zu diesem Zweck entwickeln wir Modelle zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens und wenden sie auf industrielle Prozesse an. Wir bestimmen die Werkstoff- und Prozessparameter mittels experimenteller Methoden sowie durch den Einsatz von Werkstoffmodellen, die auf einer kleineren Skala formuliert worden sind.

Dr. Dirk Helm

dirk.helm@iwf.fraunhofer.de

Mikromechanische Beanspruchungsanalyse

Wir untersuchen die mechanischen Eigenschaften und die Zuverlässigkeit von kleinvolumigen Proben. Zudem entwickeln wir die experimentelle Mechanik zur Untersuchung mechanischer Materialeigenschaften in kleinen Dimensionen kontinuierlich weiter.

Dr. Chris Eberl

chris.eberl@iwf.fraunhofer.de

SKALENÜBERGREIFENDE SIMULATION VON WASSERSTOFFVERSPRÖDUNG

Wasserstoffversprödung beeinflusst fast alle Metalle in gewissem Maße. Weil Wasserstoff unter vielen Betriebsbedingungen existiert oder gebildet werden kann, stellt Wasserstoffversprödung ein ernsthaftes und teures Problem in allen Industrien dar. MultiHy (»Multiscale modelling of hydrogen embrittlement«) ist ein EU-FP7-gefördertes Projekt, das auf die Entwicklung von fortgeschrittenen skalenübergreifenden Modellen fokussiert ist, um das Verständnis der Ursachen der Wasserstoffversprödung während der Herstellung und im Betrieb zu verbessern. Firmen werden damit in der Entwicklung von Werkstoffen, Komponenten und Produktionsverfahren unterstützt, die ein Versagen durch Wasserstoffversprödung ausschließen oder minimieren. Das vom Fraunhofer IWM koordinierte Projekt mit einem Budget von 5,5 Mio € bringt elf Partner von sechs europäischen Ländern zusammen, unter anderem große Industrieunternehmen wie BMW Group, EADS, ThyssenKrupp Steel Europe, voestalpine Stahl und SKF.

Industrierelevante Simulation von Wasserstoffversprödung

Das Hauptziel des Projekts ist die Entwicklung einer robusten und übertragbaren Methodik zur Simulation von Wasserstoffdiffusion in Metallen. Diese Methodik kombiniert detaillierte Informationen bezüglich der Wechselwirkung von Wasserstoff und der Mikrostruktur der Werkstoffe und ihrer Umgebungsbedingungen durch eine skalandurchgängige Modellierung von der atomistischen bis zur makroskopischen Skala. Dadurch ist die wesentlich genauere Vorhersage der Bildung von Wasserstoff an kritischen Stellen in Werkstoffen und Bauteilen ermöglicht. Die Beteiligung der Industrieunternehmen stellt

sicher, dass die neu entwickelten Simulationstechniken auf Basis reeller Materialeigenschaften und Beanspruchungsinformationen erfolgreich eingesetzt werden können. Eine Vielzahl zielgerichteter Experimente wird die erforderliche Datenbasis bereitstellen und die Modelle validieren.

Experimentelle Charakterisierung der Wechselwirkung von Wasserstoff und Metallen

Die Basis für eine fortschrittliche, skalenübergreifende Simulation der Wasserstoffdiffusion ist die Kenntnis der Wechselwirkung zwischen Wasserstoffatomen und mikrostrukturellen Eigenschaften der Werkstoffe. Wichtige Einflussgrößen sind beispielsweise die Bindungsenergie von Wasserstoff zu TiC-Partikeln in Stahl oder die Diffusivität von Wasserstoff entlang der Korngrenzen in Nickel.

Zur Charakterisierung solcher Einflussgrößen nutzt das Fraunhofer IWM elektrochemische Permeations-Verfahren, in denen die Transmission von Wasserstoff durch eine dünne Metallplatte gemessen wird. Die Wirkung von sogenannten Wasserstofffallen im Gefüge, welche die Diffusion maßgeblich beeinflussen, wird mit einem Finite-Elemente (FE) Modell über Optimierungsalgorithmen bestimmt. Dadurch können die Ergebnisse der atomistischen und der KMC-Modelle validiert werden. Darüber hinaus werden in situ-Zugversuche durchgeführt, mit denen die Auswirkung der Wasserstoffversprödung auf die mechanischen Eigenschaften der Stähle charakterisiert werden können. Diese Informationen werden als Schadenskriterien in die FE-Modelle für die Bauteilauslegung eingeführt.

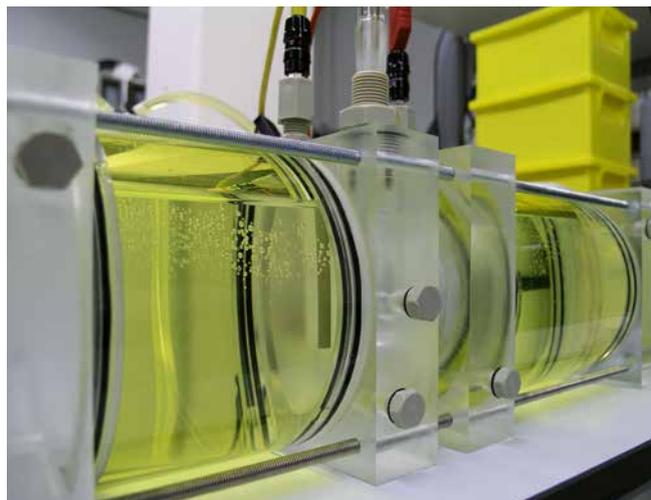


In MultiHy wird Wasserstoffversprödung in drei industriellen Fallbeispielen untersucht.

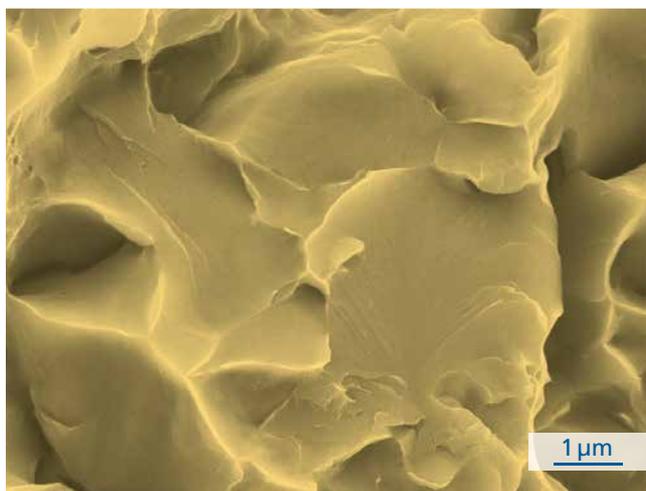
Anwendung in industriellen Fallbeispielen

Die Leistungsfähigkeit der Modelle wird in drei industriellen Fallbeispielen der Wasserstoffversprödung demonstriert. Das erste Fallbeispiel betrifft die Optimierung des Herstellungsprozesses der Brennkammer der Ariane 5-Rakete. Das zweite Beispiel ist Wasserstoffversprödung von »advanced high strength steel« (AHSS), der für Automobil-Karosserieteile verwendet wird. Im dritten Fallbeispiel wird die Rolle des Wasserstoffs bei der Wälzkontaktermüdung von Lagern in Windkraftanlagen untersucht. Der Wasserstoff entsteht hier durch eine tribochemische Reaktion von Schmierstoffen. Die Ergebnisse des Projekts werden zur Optimierung der Auslegungsrichtlinien und zu einer besseren Vorhersage der Lebensdauer führen. Weitere Informationen über das Projekt und zu laufenden Veranstaltungen sind auf der Projektwebseite www.multihy.eu zu finden.

Dr. Nicholas Winzer



1 Wasserstoff-Permeationszelle (15 cm hoch) zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Wasserstoffatomen und Metallgefügen.



2 REM-Abbildung einer von Wasserstoff versprödeten Rissfläche.

SIMULATIONSGESTÜTZTE BEWERTUNG INDUKTIVER HÄRTEPROZESSE

Für das Härten großer Bauteile werden häufig Erwärmungs-Verfahren mit bewegtem Induktor angewandt. Die Prozess-Auslegung erfolgt experimentell mit iterativen Methoden oder mittels spezieller Software, die das Temperaturfeld durch die Induktor-Wirkung berechnet. Ziel ist immer die gezielte Einstellung von günstigen Werkstoff- und Eigenspannungszuständen. Durch den Einsatz effektiver Mapping-Techniken und einer erweiterten Simulationsumgebung konnten für einen Induktionsprozess zusätzliche werkstoffkundliche Informationen ermittelt werden. Simulationsgestützte Bewertungsmethoden bieten insbesondere den Vorteil, messtechnisch schwer erfassbare Kenngrößen im Werkstoff während eines Prozesses nachvollziehen zu können und die Auswirkung von Prozess-Änderungen kostengünstig am Computer zu testen.

Die entwickelte Methodik ermöglicht es, aus einem vorliegenden stationären Temperaturfeld durch eine hinzugefügte virtuelle Bewegung des Induktors den Temperatur-Zeit-Verlauf im Bauteil abzubilden und somit die Austenitisierung beim Aufheizen und die Phasenumwandlungen beim Abkühlen berechnen zu können.

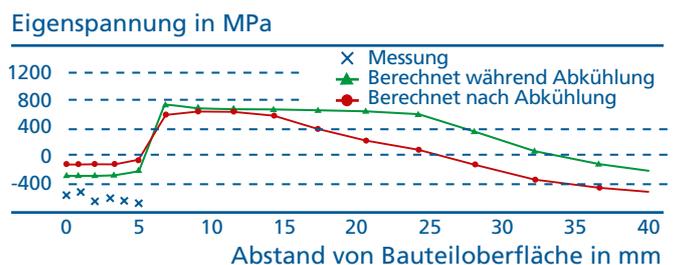
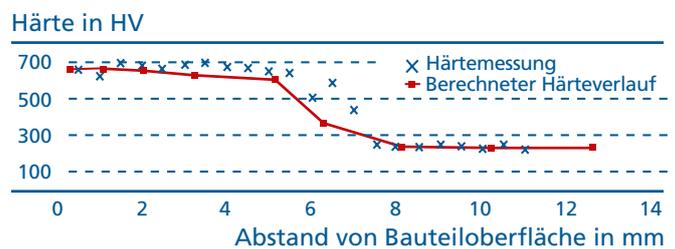
Abschätzung von Einhärtetiefen

Durch die orts aufgelöste Berechnung der Temperatur-Geschichte des betrachteten Bauteils konnte mithilfe der Implementierung von Temperatur-Zeit-Umwandlungsschaubildern die zeitliche Entwicklung des Ausgangswerkstoffs zu Austenit und beim Abkühlen zu Ferrit, Perlit, Bainit und Martensit berechnet werden. Dies ermöglicht eine Abschätzung der Einhärtetiefe (Abbildung 1 oben).

Vorhersage entstehender Eigenspannungszustände

Aufgrund von thermischen und Umwandlungs-Dehnungen entstehen bleibende lokale mechanische Spannungen im Bauteil. Durch die Kenntnis der metallurgischen Phasenanteile können für den induktiven Härteprozess die Eigenspannungsverteilung im Bauteil berechnet und ungünstige Zugeigenspannungsfelder identifiziert werden. Abbildung 1 (unten) zeigt, dass im Vergleich zu typischen experimentellen Messungen der Bereich der Zugspannungen zusätzlich erfasst wird. Die Abweichung im Absolutwert resultiert aus derzeit noch unvollständigen Mapping-Daten im Bereich der Abkühlung.

Dr. Frank Schweizer



1 Gemessener und berechneter Härteverlauf (oben) und Eigenspannungen (unten) in Abhängigkeit der Bauteiltiefe.

BEWERTUNG GROSSSERIENFÄHIGER CFK-WERKSTOFFE

Vor dem Hintergrund der begrenzten natürlichen Ressourcen wird in vielen Technologiefeldern, insbesondere im Transportsektor, zur Gewichtsreduktion zunehmend auf Leichtbauprinzipien gesetzt. Für tragende Strukturen kommen dabei kohle- oder glasfaserverstärkte Kunststoffe (CFK, GFK) mit quasi-endlosen Fasern in Frage. Um eine Großserienfertigung mit kurzen Taktzeiten realisieren zu können, sind automatisierbare Fertigungsverfahren erforderlich. Vorteile bietet der »Resin Transfer Moulding« (RTM)-Prozess, bei dem zunächst die trockenen Fasern als Gelege abgelegt werden und nach dem Schließen der Form eine Infiltration mit dem Matrixwerkstoff erfolgt.

Wissenschaftliche und technische Fragestellungen

Die Bewertung des mechanischen Verhaltens dieser Materialien wirft eine Reihe spezifischer Fragestellungen auf. Diese betreffen insbesondere das interlaminare Verhalten, da sich durch diese die einzelnen Rovings fixierenden Nähfäden gegenüber klassischen Prepreg-Laminaten komplexere transversale Mikrostrukturen und stärkere Variationen der Schichtgrenzen ergeben.

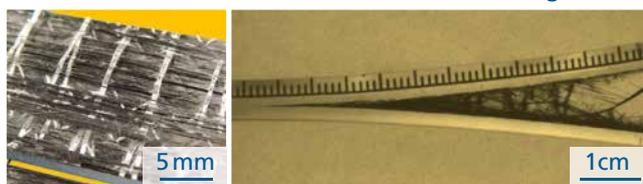
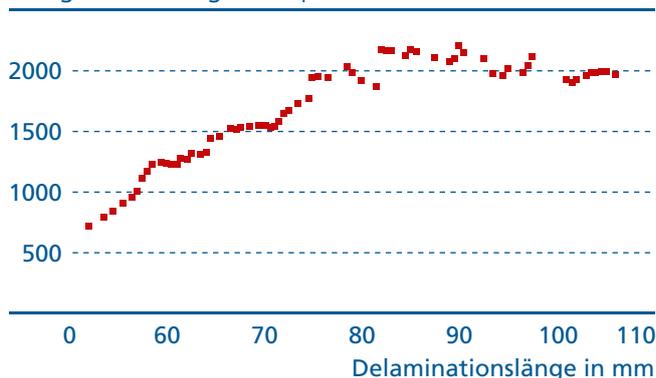
Materialcharakterisierung

Das Fraunhofer IWM prüft und charakterisiert die Werkstoffe im Hinblick auf ihre mechanischen Eigenschaften und simuliert das Einsatzverhalten mit geeigneten Modellen. Die Grundcharakterisierung erfolgt in Zug-, Druck- und Scherversuchen an unidirektional verstärkten Proben. Zur Bestimmung der Schubeigenschaften G_{23} quer zur Faserrichtung wurde eine Prüfung an gefügten Iosipescu-Proben etabliert. Zur Validierung der Modelle werden Versuche an multidirektionalen Schichtaufbauten durchgeführt. Zur Bewertung der interlaminaren Scherfestigkeit dient der »Interlaminar Shear Strength«

(ILSS)-Versuch. Die Delaminationszähigkeit im Modus I und II wird im »Double Cantilever Beam« (DCB)- beziehungsweise »End Notch Flexure« (ENF)-Test bestimmt und kann durch Mixed-Mode-Versuche ergänzt werden. Als Beispiel für einen durch die spezifische Mikrostruktur des RTM-Werkstoffs bedingten Effekt ist in Abbildung 1 die mit dem Rissfortschritt stark ansteigende Risswiderstandskurve dargestellt. Diese wird durch die Bildung ausgeprägter Rissbrücken mit steigendem Rissfortschritt verursacht.

Dr. Monika Gall, Dr. Jörg Hohe

Energiefreisetzungsrates G_I in J/m^2



1 Risswiderstandskurve bei Delamination (oben), Bruchfläche nach DCB-Versuch (unten links) und Probe mit Rissbrücken (unten rechts) (Material und Daten aus TC^2 RTM CAE/CAX).

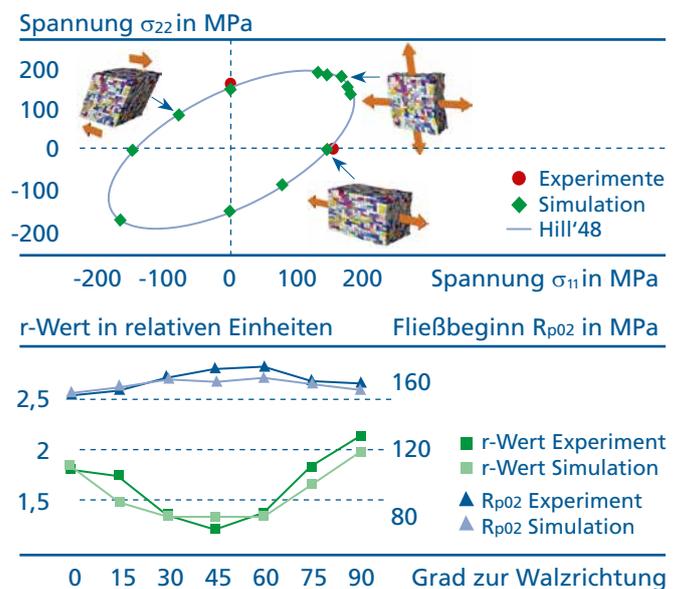
VIRTUELLE KENNWERTE: UMFORMSIMULATION VON BLECHWERKSTOFFEN

Die Methode der Finiten Elemente (FEM) ist im Bereich der Blechumformung ein etabliertes Werkzeug zur Prozessauslegung sowie zur Vorhersage von Eigenschaften des umgeformten Bauteils, zum Beispiel Stofffluss, Blechdickenverteilung oder Rückfederverhalten. Um den Umformvorgang möglichst genau simulieren zu können, ist die Modellierung des Werkstoffverhaltens und dabei insbesondere die Beschreibung der Anisotropie und Verfestigung des Blechwerkstoffes von sehr großer Bedeutung. Mit steigender Genauigkeit dieser Modelle erhöht sich jedoch die Anzahl und Komplexität der experimentellen Untersuchungen, die erforderlich sind um die Modelle zu kalibrieren. Hier können virtuelle Versuche sowohl aufwändige experimentelle Untersuchungen ersetzen als auch die Datenbasis zur Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften deutlich erweitern. Damit ist eine genauere Kalibrierung insbesondere von komplexen Materialmodellen möglich.

Das für die virtuellen Versuche verwendete Modell berücksichtigt die Mikrostruktur des Werkstoffs in Form eines repräsentativen Volumenelements. Die einzelnen Körner des Gefüges werden orts aufgelöst abgebildet, wobei Informationen wie die Kornform, Kornorientierung oder Phasenverteilung in die Modellierung mit einfließen. Die Bestimmung der Modellparameter erfolgt anhand weniger simpler Versuche, beispielsweise einem einzigen Zugversuch. Danach ist es mit dem kalibrierten Modell möglich, viele weitere »virtuelle Versuche« durchzuführen. Durch entsprechende Modifikation der Randbedingungen können zum Beispiel Belastungszustände wie etwa Druckversuche untersucht werden, die für Blechwerkstoffe experimentell nur sehr aufwändig realisierbar sind. Diese Vorgehensweise wird anhand eines einfachen Tiefziehstahls

DC04 demonstriert. Dargestellt sind in Abbildung 1 (oben) der Fließbeginn in Abhängigkeit der beiden Hauptspannungen in der Blechebene sowie in Abbildung 1 (unten) die Gegenüberstellung von berechneten und experimentell ermittelten Fließgrenzen und r-Werten in verschiedenen Blechrichtungen. Durch die Kombination von einfach durchzuführenden Versuchen und dem »virtuellen Labor« ergeben sich damit interessante Anwendungen für eine genauere Beschreibung von Blechwerkstoffen.

Maria Baiker, Dr. Alexander Butz



1 Anfangsfließort DC04 ausgewertet bei R_{p02} (oben), Fließbeginn und r-Werte in Abhängigkeit der Blechorientierung (unten).

MIKROERMÜDUNG AN STARK PLASTIFIZIERENDEN WERKSTOFFEN

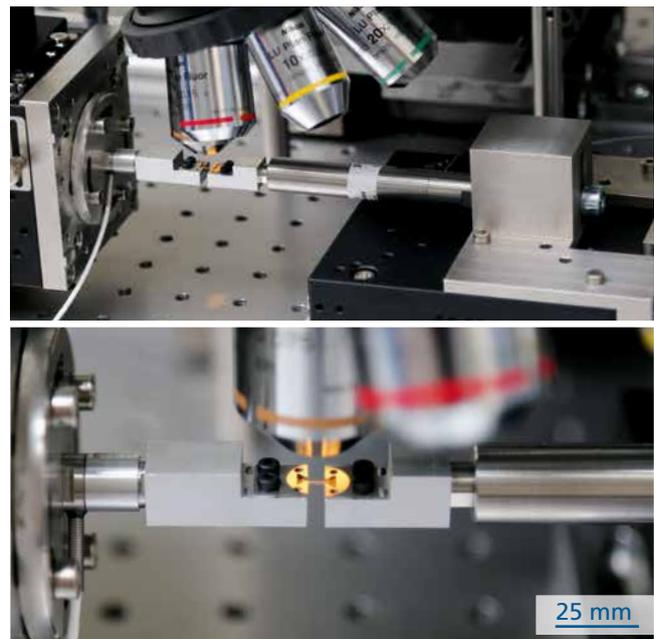
Größen- und Skalierungseffekte können in kleinen Bauteilen und Komponenten auftreten. Mindestens eine charakteristische Bauteilabmessung liegt in solchen Fällen in der Größenordnung von nur einigen 100 µm oder weniger vor. Dies kann zu einer Beanspruchung der Mikrostruktur führen, die vom makroskopischen Lastfall abweicht. Außerdem ändern sich die Randbedingungen für mikrostrukturelle Verformungen, wenn die Bauteilabmessungen in die Größenordnung der Mikrostruktur hinabreichen, was zu einem geänderten Verformungsverhalten führen kann. Materialdaten, welche an makroskopischen Proben gewonnen wurden, können somit nicht ohne Weiteres auf die Mikroskala extrapoliert, sondern müssen an Mikroproben ermittelt werden. Hierbei stellen sich besondere Anforderungen an die Präzision der eingesetzten Steuerungs- und Messtechnik.

Neue Hochlast-Mikroermüdungsapparatur

Kommerziell erhältliche Messapparaturen erfüllen meist nicht die speziellen Anforderungen, welche sich durch Mikromaterialtests stellen, oder sie funktionieren als eine schwer durchschaubare »black box«, die kaum erweiterbar ist, weil beispielsweise eine eigene Anpassung der Steuerungssoftware nicht vorgesehen ist. Daher wird in der Gruppe »Mikromechanische Beanspruchungsanalyse« des Fraunhofer IWM selbstentwickelte Mikromesstechnik mit materialwissenschaftlichem Know-how verbunden. Vor diesem Hintergrund wurde eine neue Mikroermüdungsapparatur entwickelt, die Dank ihres leistungsfähigeren Motors und einer druckluftgesteuerten Vorspannung Kräfte von mehr als 250 N aufbringen kann. Der integrierte Piezoaktor bietet dabei eine hohe Steifigkeit und eine Ortsauflösung von zirka 1 nm. Somit ist es möglich, Ermüdungs-

versuche gezielt abubrechen, sobald der zum Ausfall führende Riss kritisch wird, ohne die Probe völlig zu zerstören. Durch eine anschließende fraktographische Untersuchung kann die Interaktion von Rissfortschritt und Mikrostruktur untersucht werden. Die Zuverlässigkeit von Mikrobauteilen und -komponenten kann somit besser beurteilt werden, und die experimentell gewonnenen Daten bilden die Grundlage für Modelle zur Lebensdauervorhersage auf der Mikroskala.

Tobias Kennerknecht, Thomas Straub



1 Hochlast-Mikroermüdungsapparatur auf einem schwingungsgedämpften Tisch (oben); Zugprobe in der Apparatur unter dem Mikroskop (unten).

GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Mario Beiner (kommissarisch) | Telefon +49 345 5589-247 | mario.beiner@iwmh.fraunhofer.de

Fokus

Wir untersuchen und verarbeiten innovative Polymermaterialien, Polymer-Nanopartikel-Komposite und Faserverbundwerkstoffe mit dem Ziel sie zu bewerten, ihre Struktur-Eigenschafts-Beziehungen aufzudecken, Verarbeitung zu optimieren sowie entsprechende Bauteile auszulegen und deren Einsatzverhalten vorherzusagen. Wir entwickeln werkstoffgerechte Prüfkonzepte, Verarbeitungstechnologien und spezielle Werkstoff- und Schädigungsmodelle, welche die konkrete Materialstruktur und die realen Beanspruchungsbedingungen berücksichtigen. Zusammen mit dem Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau decken wir die gesamte Kette von der Optimierung der Mikrostruktur des Werkstoffs, über Bauteildesign und -dimensionierung bis zur Herstellung prototypischer Bauteile nach Maß ab. Unsere Kunden sind Polymerhersteller und -verarbeiter, Unternehmen aus den Bereichen Bau und Maschinenbau, Luftfahrt und Automotive.

Leistungsspektrum

- Materialdesign und Bestimmung von komplexen Materialmodellen inklusive prototypischer Herstellung von Masterbatches
- Auslegung von Bauteilen aus Polymeren und polymerbasierten Materialsystemen
- Herstellung von prototypischen Bauteilen mittels Spritzguss, Profilextrusion, Injection-Molding-Compoundierung, Folienextrusion und reaktiver Polyurethan-Technologie
- Mechanische und mikrostrukturelle Bewertung der Materialien und Bauteile und Entwicklung von mikrostruktur-basierten Simulationsmethoden und Prüfkonzepten für höchstbelastete Faserverbund-Leichtbaustrukturen

Bemerkenswertes aus 2013

Dr. Peter Michel, vormals REHAU AG, begann seine Tätigkeit als Leiter der Gruppe »Polymerverarbeitung« am Fraunhofer PAZ in Schkopau und startete Aktivitäten im Bereich polymerbasierte Hochleistungsverbundwerkstoffe. Im Rahmen einer strategischen Investition der FhG wird unter seiner Leitung eine Anlage zur Herstellung von unidirektional endlosfaserverstärkten Tapes und lastgerecht ausgelegten Laminaten aufgebaut. Ziel ist es dabei, den Bereich Leichtbau für Mobilitätsanwendungen weiter zu erschließen und die Zusammenarbeit mit Automobil- und Luftfahrtindustrie zu stärken. Die Investitionsbank des Landes Sachsen-Anhalt unterstützt die Aktivitäten im Bereich endlosfaserverstärkter Thermoplasthalbzeuge im Rahmen des Projekts BAMATS. Wir freuen uns, die langjährige, erfolgreiche Zusammenarbeit mit der zur Airbus Gruppe gehörigen CTC GmbH Stade bei der Entwicklung von Prüfmethoden für Schaum-Sandwich-Bauteile im Rahmen des Projekts »Vertical Tail Plane – Next Generation« fortsetzen zu können.

Prof. Dr. Mario Beiner begann zwei BMBF-Projekte im Bereich Elastomer-Nanopartikel-Komposite und superelastische High-Tech-Materialien. Im Rahmen des BMBF-Programms KMU-Innovativ wird das Projekt »Emissionsoptimierte Kompositmaterialien für die Laufflächen runderneuerter Nutzfahrzeugreifen mit recyceltem Feingranulatanteil« mit den Partnern Deutsche Gumtec AG, Marangoni GmbH und vier weiteren Reifenrunderneuerern gefördert. Auch das BMBF-Projekt »Superelastische Multipropfocopolymere für den Einsatz in Pumpen sowie in der Medizin- und Lebensmitteltechnik« von Fraunhofer IWM und Fraunhofer PAZ ist erfolgreich angelaufen. Dies schafft für die nächsten Jahre hervorragende Voraussetzungen für die interne Zusammenarbeit von Synthese und Materialentwicklung sowie für die Kooperation mit Industriepartnern bei der Erschließung neuer Anwendungsgebiete für hochwertige Elastomermaterialien.



Von links: Dr. André Rappthel, Dr. Peter Michel und Prof. Dr. Mario Beiner.

Gruppen

Naturstoffkomposite

Unser Ziel ist es, den Anteil petrochemischer Komponenten zu reduzieren und gleichzeitig den Gebrauchswert zu erhöhen. Unser Materialspektrum reicht dabei von duroplastischen bis hin zu thermoplastischen Matrices mit Verstärkungskomponenten aus nachwachsenden Rohstoffen. Durch die systematische Untersuchung von Verarbeitungsparametern im Labormaßstab werden innovative Materialkombinationen entwickelt und mit Methoden der Polymeranalytik umfassend charakterisiert.

Dr. André Rappthel

andre.rappthel@iwmh.fraunhofer.de

Polymerbasiertes Materialdesign

Wir entwickeln neue Materialkonzepte und optimieren bestehende Polymermaterialien hinsichtlich ihrer physikalischen und mechanischen Eigenschaften. Im Vordergrund steht insbesondere, thermoplastisch verarbeitbare superelastische Polymere, nanostrukturierte Copolymere sowie die mit nanoskaligen Füllstoffen modifizierten Polymersysteme weiterzuentwickeln. Der Fokus liegt dabei auf der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen molekularer Struktur, Morphologie und mechanischen Eigenschaften polymerer Materialien.

Prof. Dr. Mario Beiner

mario.beiner@iwmh.fraunhofer.de

Polymerverarbeitung

im Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ

Unser Schwerpunkt ist der polymerbasierte Leichtbau und die Entwicklung von Leichtbaustrategien auf Basis thermoplastischer Systemkomponenten. Wir untersuchen integrative Fertigungsverfahren für Kombinationen aus endlos-, kurz- und langglasfaserverstärkten Materialien. Zudem entwickeln wir Bauteile und legen sie aus: über die Prototypenerstellung im originalen automobilen Maßstab bis hin zur Nullserie. Für Hochleistungs-Komposit-Bauteile führen wir strukturmechanische Aufklärungen und Bewertungen aus.

Dr. Peter Michel

peter.michel@iwmh.fraunhofer.de

Gründungsvorhaben Biobasierte Schaumstoffe

Wir beschäftigen uns mit der Entwicklung, Charakterisierung und Optimierung duroplastischer biobasierter Schaumstoff-Systeme. Wir entwickeln anwendungsorientiert Materialien und Produkte und charakterisieren umfassend biobasierte Schaumstoffe. Mithilfe von Simulationen legen wir Bauteile aus und optimieren deren Eigenschaften.

Martin Fritz

martin.fritz@iwmh.fraunhofer.de

POLYMERE, MATERIALIEN UND BAUTEILE AUS BIOMASSE

Im Rahmen des Strukturwandels hin zu einer biobasierten Wirtschaft zur Entwicklung von Werkstoffen zur Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse für innovative Werkstoffe und Bauteile wird im Rahmen des Spitzenclusters Bioökonomie an der stofflichen Nutzung von Buchenholz geforscht. In zwei Nutzungspfaden werden Faserstoffe und pflanzliche Monomere genutzt. So lässt sich Lignin zu phenolischen duroplastischen Harzen oder bei Nutzung von Caprolactam zu thermoplastischen Polyamiden weiterverarbeiten und durch Naturfasern verstärken. Anhand aussichtsreicher Materialkombinationen werden Musterbauteile präpariert, numerisch untersucht sowie hinsichtlich der eingesetzten Rohstoffqualität und des Jahrgangsverhaltens des Buchenholzes auf das Bauteilverhalten bewertet. Fachlich begleitet und finanziell gefördert werden die Projekte durch das Bundesministerium für Forschung und Entwicklung BMBF.

Holzfaserverstärkte Polyamide – BioWPC

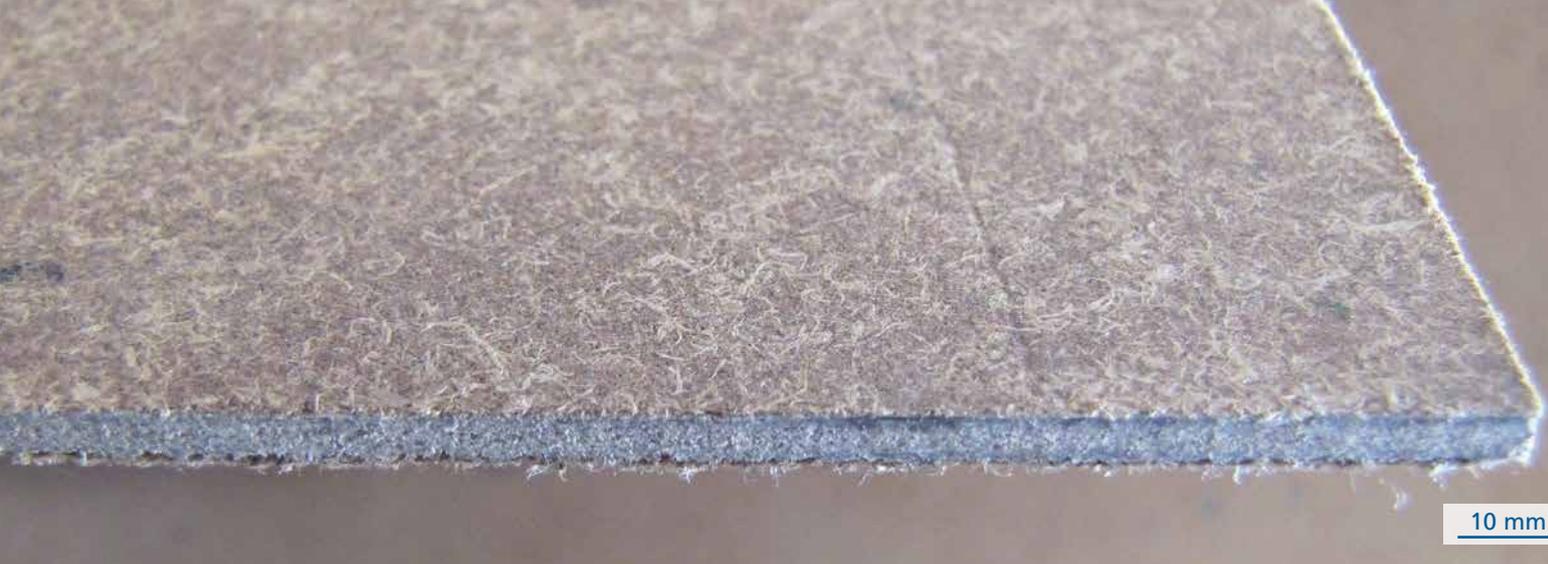
Die stoffliche Nutzung von Biomasse zur Herstellung hochwertiger Verbundwerkstoffe für Produkte zum einen für die Automobilindustrie und zum anderen für den Bausektor steht im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens. Dabei spielt das Werkstoffdesign eines Verbundmaterials, das aus bis zu 100 Prozent nachwachsenden Rohstoffen besteht, eine entscheidende Rolle. Als Verstärkungsfasern werden thermomechanisch und chemisch aufgeschlossene Buchenholzfasern verwendet, die in niedrigschmelzende Polyamide auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Biocaprolactam, Aminoundecansäure beziehungsweise C10/C12-Disäuren/Diamine aus Rizinusöl) eingebunden werden. Die jeweiligen optimierten Verarbeitungsverfahren und Materialmodifikationen werden

vom Labor- in den Demonstrationsmaßstab übertragen. Diese Materialkombination ist in der Automobilindustrie interessant für Türinnenverkleidungen und Amaturenverblendungen, die als Demonstratoren für den direkten Benchmark im Rahmen des Projektes entwickelt werden sollen.

Gegenwärtig wird der Einfluss der Fasermodifikation auf die thermischen Eigenschaften der Fasern und die mechanischen Eigenschaften im Verbund untersucht. Die zweistufige Modifikation der Fasern erfolgt thermomechanisch und chemisch. Als Modifikate stehen somit die Refinerfasern beziehungsweise die gereinigten und gebleichten Fasern zur Verfügung. Mit Abnahme der Anteile an Lignin und Pektinen in der Holzfaser steigt die Thermostabilität der Fasern (Abbildung 1 oben). Dies ist wichtig für die spätere Compoundierung mit Polyamid, das bei deutlich höheren Temperaturen als die üblich verwendeten Polyolefine verarbeitet wird. Im Verbund mit Polypropylen konnte eine deutliche Erhöhung des Zug-E-Moduls durch den Einsatz der Buchenholzfasern festgestellt werden (Abbildung 1 unten). Eine weitere Verbesserung bewirkt die Reinigung der Fasern. Für die gebleichten Fasern konnte festgestellt werden, dass die Eigenschaften leicht sinken. In Kombination mit Polyamid wird jedoch erhofft, dass die höhere thermische Stabilität der gebleichten Fasern sich positiv auf die mechanischen Eigenschaften auswirken, was besonders interessant für die Automobilindustrie wäre. Dies aufzuklären wird Untersuchungsgegenstand der folgenden Arbeiten sein.

Sandwichelemente – LignoSandwich

Im Rahmen des Verbundvorhabens LignoSandwich erfolgt die Nutzung von Organosolv-Lignin als Additiv oder reines Binde-



10 mm

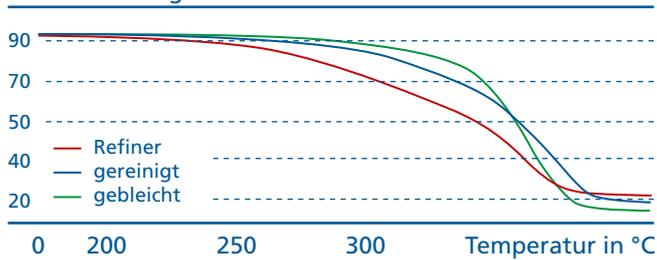
Verpresste Naturfaserdecklage.

system zur Herstellung von ebenen Laminaten mit verschiedenen Verstärkungsfasern aus nachwachsenden Rohstoffen. Dabei können bis zu 40 Prozent eines herkömmlichen duroplastischen Systems durch Lignin ersetzt werden. Ein besonderer Schwerpunkt wird hierbei auf die Technologie zur Einbringung des Lignins in die duroplastischen Grundsysteme gelegt. Durch ein am Fraunhofer IWM entwickeltes Mischverfahren kann eine Dispersion erzeugt werden, welche für die

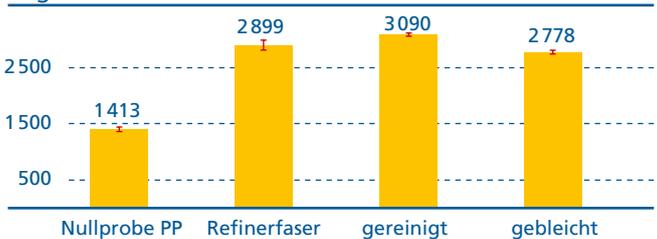
Herstellung von Prepregs beziehungsweise vorimprägnierten Fasern geeignet ist. Nach der Tränkung der Naturfaservliese werden diese dann heiß verpresst und das Lignin zum Teil chemisch eingebunden (Abbildung 2). Diese Lamine dienen als Sandwichdecklagen für ein im weiteren Projektfortschritt zu entwickelnden Sandwich-Stützkern aus biobasiertem Schaum.

Dr. André Rappthel

thermische Degradation in %



Zug E-Modul in MPa



10 mm

1 Thermische Degradation unterschiedlich modifizierter Buchenholzfasern (oben). Einfluss der Fasermodifikation auf das Zug-E-Modul im Verbund (unten).

2 Naturfaser-Prepreg mit Lignin modifiziertem Phenolharz.

ENTWICKLUNG VON UD-TAPES FÜR AUTOMOTIVE-ANWENDUNGEN

Fahrzeuggewichtsreduzierungen werden aufgrund der Klimaschutzbestimmungen und der Ressourcenknappheit immer bedeutender. Möglichkeiten hierzu liegen im werkstofflichen Leichtbau, im konstruktiven Leichtbau sowie im Systemleichtbau. Der werkstoffliche Leichtbau beruht auf der Substitution eines vorhandenen Werkstoffes durch jene mit geringer Dichte bei gleichzeitig höheren spezifischen Eigenschaften – zum Beispiel durch Einsatz von Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV). Die Ansätze des konstruktiven Leichtbaus beruhen im Falle der FKV auf einer bestmöglichen Faserausrichtung. Der Systemleichtbau berücksichtigt mögliche Funktionsintegration durch langglasfaserverstärkten Spritzguss am Gesamtsystem.

Unidirektionale Faserverstärkung im Automobilbau

Im Automobilbau werden zunehmend metallische Systeme durch faserverstärkte Kunststoffe ersetzt. Dabei liegt der Schwerpunkt nicht nur auf Verkleidungsteilen, sondern gleichermaßen auf tragenden und hochbelasteten Bauteilkonstruktionen. Um den dort gegebenen hohen Festigkeits- und Steifigkeitsanforderungen bei einer gleichzeitig wirtschaftlichen Produktion gerecht zu werden, kommen vermehrt thermoplastische Composites mit Endlosfaserverstärkung zum Einsatz. Deren besonderes Potenzial liegt in der unidirektionalen Verstärkung. Lastgerecht über der Wanddicke und der Bauteilabmessung ausgerichtete unidirektionale UD-Tapes sind dabei von großer Bedeutung. Optimal auf die im Bauteil auftretenden Lastpfade abgestimmt entfalten diese Werkstoffe ihre bestmögliche Mechanik.

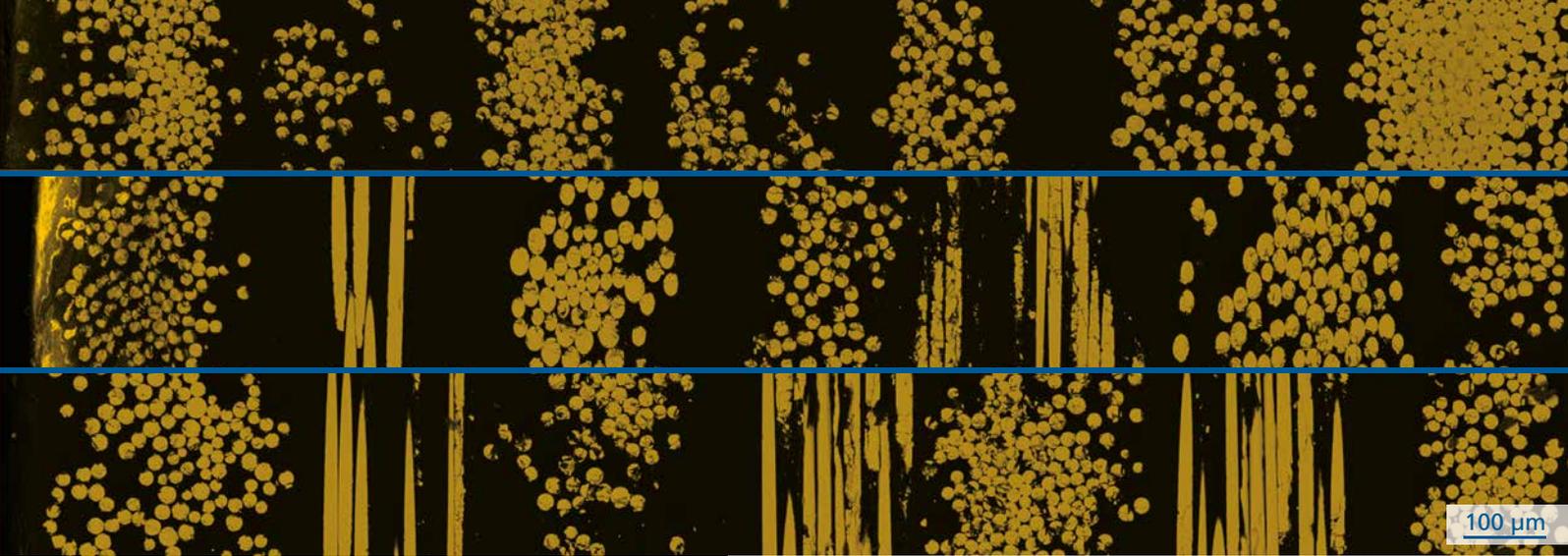
Integration in den Spritzgießcompoundierprozess

Um Bauteile im Automobilbereich lastgerecht auszulegen und

fertigen zu können, wird am Fraunhofer PAZ eine Pilotanlage zur Fertigung und Konsolidierung von UD-Tapes aufgebaut, die es ermöglicht, taylored Organobleche als Einlegeteile im Spritzgießcompoundierprozess weiterzuverarbeiten. Das Ziel besteht im schichtweisen, lastgerechten Aufbau einzelner thermoplastischer UD-Tape-Lagen (Abbildung 1), die gezielt die zuvor ermittelten Lastpfade abbilden und in weniger belasteten Bauteilregionen das Bauteil durch kurz- und/oder langfaserverstärkte Thermoplasten, die in der Matrix kompatibel zum Endlosfasermaterial sind, auffüllen. Zusätzlich bildet der Spritzgießcompoundierprozess die Möglichkeit der Funktionsintegration in Form von Rippen, Clips und weiteren. Dabei wird mit Polypropylen und Polyamid sowie mit Glas- und Kohlefasern gearbeitet. Die Anzahl der UD-Einzelschichten entspricht der vorgegebenen Endwandstärke des Bauteils. Die auf das Bauteil abgestimmte Preform wird in einem Ofen erwärmt und mittels Matrixgreifsystem in das Werkzeug transferiert. Dort erfolgt die Ausformung, Konsolidierung und Funktionalisierung. Die lastgerechte Faserorientierung bleibt von der Erwärmung über den Transport bis zur Umformung erhalten. Auf diese Weise können Bauteile mit hohen bauteilspezifischen Umformgraden umgesetzt werden (Abbildung 2).

Entwicklung und Prüfung von Demonstratorbauteilen

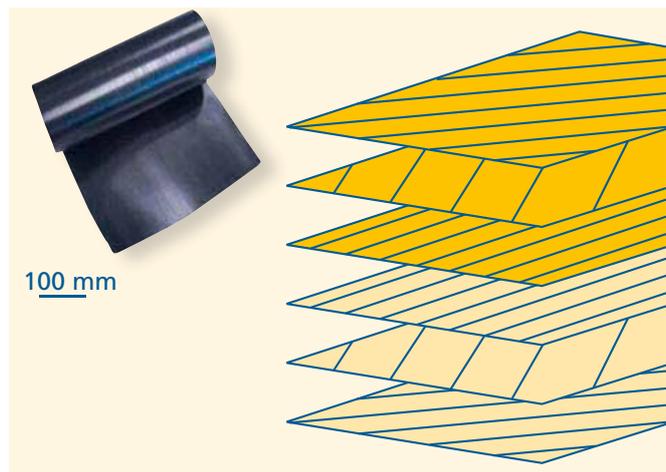
Die Beschreibung des mechanischen Verhaltens von thermoplastischen Composite-Systemen ist ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten. Es gibt sowohl in der Charakterisierung wie auch in der Modellbildung Lücken, was den Stand der Technik hinsichtlich Anisotropie, Dehnraten- und Temperaturverhalten angeht. Auch die Faktoren Rissinitiation und Schadensverlauf sind nicht abschließend gelöst. Bauteilkon-



Detailaufnahme thermoplastische UD-Laminat im Gelegaufbau (Faserrichtungen):
 0° (oben), quasiisotrop (Mitte), 0°-90° (unten).

zepte zum Leichtbau von automobilen Bauteilen und Modulen beinhalten den hybriden Materialansatz von Kunststoff/ Kunststoff in Endlos- und Kurz-/Langfaserverstärkung. Die dazu modellhaft aufgebaute Demonstrationsfertigung soll die Zusammenhänge der Kompatibilitätseinflüsse des Hybrides transparent machen. Neben Design und Dimensionierung in Bezug auf Bauraum wird die Wirkkette bis auf die Ebene Matrix/ Faser auf die Bauteileigenschaft heruntergebrochen. Erste automobiler Demonstratorbauteile, welche am Fraunhofer PAZ hergestellt werden, wurden auf der Kunststoffmesse K 2013 in Düsseldorf präsentiert.

Dr. Peter Michel



1 Beispiele für lastgerechte Faserorientierungen in tailored Organoblechen.



2 Mittels UD-Organoblech partiell verstärkter Frontend-Träger (Breite 1,4 m).

REDUKTION VON BAUTEILGEWICHTEN IM LUFTFAHRZEUGINTERIEUR

Das Interieur von Luftfahrzeugen setzt auf eine Komfort-Unterstützung in kleinvolumigen Aufenthaltsräumen und vermittelt Passagieren eine »gefühlte Sicherheit«. Neben formal-ästhetischen Ansprüchen, die durch Airlines und Flugzeugbauer definiert werden, sind hohe Anforderungen an den Flammenschutz und an die mechanischen Bauteileigenschaften zu erfüllen. Zur weiteren Reduktion von Umwelteinwirkungen durch den Luftverkehr wird auch der Einsatz von Werkstoffen aus regenerativen Quellen untersucht.

Textile Decklagen

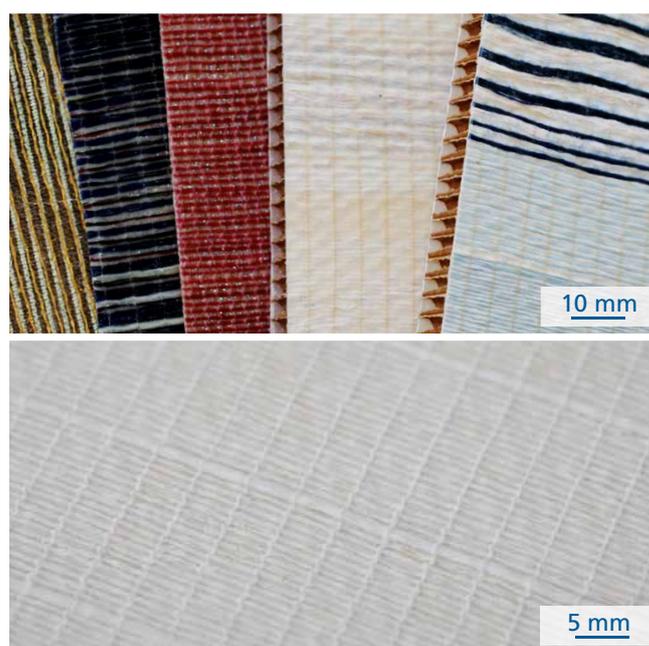
Zur Realisierung von Bauteilen für das Luftfahrzeuginterieur ist die Sandwichbauweise mit Wabenstützkernen etabliert. Bedingt durch den Herstellungsprozess lassen sich ästhetische Merkmale von Waben-Sandwichstrukturen mit Glasfaserdeckschichten nicht steuern. Daher bilden derzeit Dekorfilme mit einem Flächengewicht bis zu 500 g/m² den Bauteilabschluss.

Die Verwendung von Naturfasern bietet die Option, durch textile Gestaltung der Decklagen einen optisch ansprechenden Bauteilabschluss bereits in den Herstellungsprozess von Waben-Sandwichstrukturen zu integrieren. Es wurden textile Konstruktionen identifiziert und optimiert, welche sowohl den werkstoffmechanischen als auch den ästhetischen Anforderungen an Bauteile des Luftfahrzeuginterieurs gerecht werden. Die Prozesskette vom Naturfasergarn bis zur Waben-Sandwichstruktur mit textil gestalteter Deckschicht wurde anhand von prototypischen Aufbauten demonstriert. Ein Gewichtseinsparpotenzial von zirka 400 g/m² im Vergleich zu bisher im Einsatz befindlichen Bauteilen wurde aufgezeigt. Mit der Integration der Dekorfunktion in die Sandwichkons-

truktion von Interieurbauteilen sind allerdings neue Übergabeschnittstellen zwischen der strukturellen Bauteilauslegung und dem Industrial Design zu definieren.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 20K0905D gefördert.

Ralf Schlimper, Sven Wüstenhagen



1 *Textil gestaltete Bauteilabschlüsse an Sandwichkonstruktionen (oben); Für das Luftfahrzeuginterieur werden hohe Weißgrade erreicht (unten).*

ELASTOMER-NANOPARTIKEL-KOMPOSITE FÜR REIFEN-ANWENDUNGEN

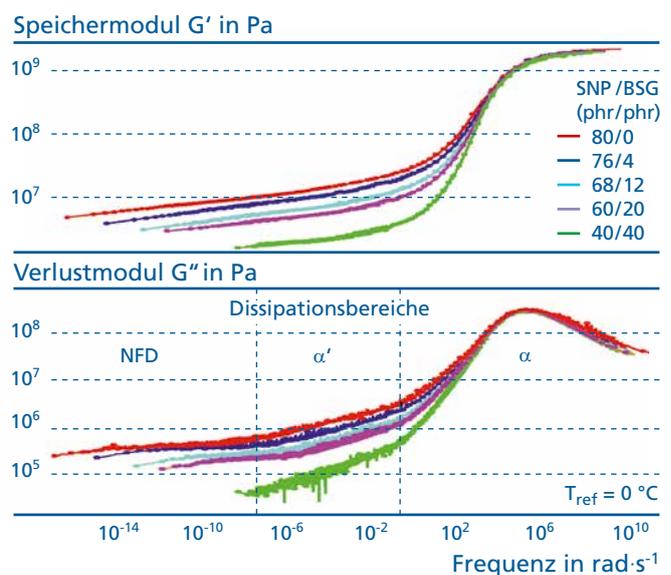
Die Reifen von Kraftfahrzeugen sind für deren Sicherheit entscheidend und tragen signifikant zum Kraftstoffverbrauch bei. Deren Anpassung an das konkrete Anforderungsprofil ist ein komplexer Multiparameter-Optimierungsprozess. Zum einen gilt es den Griff des Reifens auf nasser oder eisiger Straße zu maximieren, zum anderen sollte der Rollwiderstand, der den Kraftstoffverbrauch und damit auch die CO₂-Emmission des Kraftfahrzeugs mitbestimmt, so gering wie möglich sein. Von großer Bedeutung für die Performance eines Reifens sind die Relaxationseigenschaften der in der Reifenlauffläche verwendeten Elastomer-Nanopartikel-Komposite. Das gewachsene gesamtgesellschaftliche Interesse an energieeffizienten und emissionsarmen, aber auch sicheren Kraftfahrzeugen hat in den letzten Jahren zu einer Vielzahl von Aktivitäten zur weiteren nachhaltigen Verbesserung der Leistungsparameter von Reifen für verschiedenste Kraftfahrzeugklassen geführt.

Optimierung von Reifenlaufflächenmaterialien

Für die Grundoptimierung von Elastomer-Nanopartikel-Kompositen für Reifenlaufflächen werden standardmäßig dynamisch-mechanische Untersuchungen bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen eingesetzt. Als Kennwert für den Nassgriff wird oft der Verlustfaktor $\tan\delta$ bei 0 °C und 10 Hz benutzt, während der Rollwiderstand mit dem $\tan\delta$ -Wert bei 60 °C und 10 Hz in Verbindung gebracht wird. Für eine ganzheitliche Optimierung der Reifenmaterialien ist es aber wichtig, besser zu verstehen, welchen Beitrag Elastomermatrix, Füllstoff und Material an der Grenzfläche zu Dissipation und Verstärkung leisten. Dies gelingt, wenn man dynamisch-mechanische Messungen des Schermoduls G^* mit kleiner Deformationsamplitude (Abbildung 1) mit amplitudenabhängigen Messungen

kombiniert und diese zusätzlich mit innovativen Verfahren der Festkörper-NMR koppelt. Diesem Ansatz folgend unterstützt das Fraunhofer IWM im Rahmen verschiedener Projekte Unternehmen aus der Reifenbranche bei der effizienten Optimierung von Elastomer-Nanopartikel-Kompositen für Reifenlaufflächen. Dabei stehen oft neuartige Elastomere oder Füllstoffe, teilweise aber auch die Optimierung der Verarbeitungsparameter im Vordergrund.

Prof. Dr. Mario Beiner



1 Masterkurven aus Schermessungen, Deformationsamplitude 0,2%, für Styrol-Butadien-Kautschuk-Komposite mit Hybridfüllstoffsystemen aus Silicananopartikeln (SNP) und Borosilikatglaspartikeln (BSP).

BIOLOGISCHE UND MAKROMOLEKULARE MATERIALIEN

GESCHÄFTSFELDLIMITER

Prof. Dr. Andreas Heilmann | Telefon +49 345 5589-180 | andreas.heilmann@iwmm.fraunhofer.de

Fokus

Wir entwickeln Oberflächenmodifizierungs- und Beschichtungsverfahren zur Erzeugung von biofunktionalen Oberflächen für die Medizintechnik, Pharmazie, Biotechnologie und Kunststoffverarbeitung. Wir bewerten die mechanischen, morphologischen und chemischen Eigenschaften von biologischen und biomedizinischen Materialien und verwenden Nanotechnologien zu deren Funktionalisierung. Zur Verbesserung der Strukturbiokompatibilität von Implantatmaterialien gestalten wir spezielle mechanische Messplätze. Die Mikrostruktur von medizintechnisch relevanten Polymermaterialien untersuchen wir mithilfe von speziellen elektronenmikroskopischen Präparations- und Untersuchungsmethoden. Wir etablieren neue Antifoulingkonzepte durch die kombinierte Anwendung von plasmagestützten und nasschemischen Beschichtungsverfahren und entwickeln in vitro-Modelle zur Bewertung von medizinischen Pflegeprodukten.

Leistungsspektrum

- Mechanische Prüfung und Bewertung von biologischen und biokompatiblen Materialien unter physiologischen Bedingungen
- Oberflächenmodifizierung von Polymerfolien mit Plasmatechnologien
- Grenzflächenengineering von biologischen und biokompatiblen Materialien für das Tissue Engineering
- Oberflächenfunktionalisierung und Strukturanalyse von Dentalmaterialien
- Entwicklung und Einsatz nanoporöser Membranmaterialien
- Untersuchungen der Morphologie und Mikrostruktur von biologischen Materialien und Kunststoffen und Weiterentwicklung von Präparations- und Untersuchungstechniken
- Entwicklung von Komponenten für Biosensoren

Bemerkenswertes aus 2013

Der Strategieprozess zur weiteren Profilierung des Geschäftsfeldes, die Prüfung der vorhandenen Themen auf wissenschaftliche Exzellenz und auf ihre Eignung für eine marktorientierte, industriennahe Forschung wurde abgeschlossen. Als Resultat des Strategieprozesses haben wir eine neue Gruppenstruktur entwickelt und umgesetzt.

In der Gruppe »Technologien für biofunktionale Oberflächen« werden Themen zur Oberflächenmodifizierung und Oberflächenbewertung vorrangig von Kunststoffen bearbeitet. Themenschwerpunkte bilden weiterhin die innovative Anwendung von Atmosphärendruck-Plasmatechnologien und die funktionelle Ausrüstung von Membranen und Beschichtungen mit Antifouling-Eigenschaften. Die zweite Gruppe »Charakterisierung von medizinischen und kosmetischen Pflegeprodukten« wird die langfristigen Themen im Bereich der Mund- und Zahnpflege (Oral Care) verstärkt bearbeiten und das wissenschaftliche Tätigkeitsfeld auch auf kosmetische Pflegeprodukte ausweiten. Die Einbindung von Projekten zur Entwicklung von Kieferimplantaten in diese Gruppe wird zu neuen Synergien bei der mechanischen Bewertung von Materialien unter physiologischen Bedingungen führen.

Die neu gebildete dritte Gruppe »Bewertung von Materialien der Medizintechnik« wird sich auf morphologische Untersuchungen von medizinisch relevanten Kunststoffen und Materialien für Industriekunden aus der Medizintechnik konzentrieren. Dafür werden die vorhandenen Präparationstechniken für die Elektronenmikroskopie (Mikrotomie, Focused Ion Beam-Technologie) genutzt und zusätzlich spezielle Untersuchungstechniken (in situ-Techniken, Kryo-Elektronenmikroskopie, Atmosphärische Rasterelektronenmikroskopie, Phasenkontrast-Rasterkraftmikroskopie) weiterentwickelt, wobei auch geschäftsfeldübergreifend industriennahe Untersuchungen zur Polymorphologie durchgeführt werden.



Von links: Dr. Sven Henning, Dr. Andreas Kiesow und Prof. Dr. Andreas Heilmann.

Gruppen

Technologien für biofunktionale Oberflächen

Vorrangig für die kunststoffverarbeitende Industrie optimieren wir Verfahren zur Beschichtung und Oberflächenmodifizierung und entwickeln Verfahren zu deren inline-Diagnostik. Wir optimieren die Oberflächeneigenschaften von Polymerbauteilen und Polymerfolien mithilfe einer komplexen mechanischen, morphologischen und chemischen Charakterisierung. Durch die Beschichtungen steuern wir gezielt die Biofunktionalität und reduzieren beispielsweise die Biofilmbildung.

Prof. Dr. Andreas Heilmann

andreas.heilmann@iwmh.fraunhofer.de

Charakterisierung von medizinischen und kosmetischen Pflegeprodukten

Mit unserer angewandten Materialforschung zu Wirkstoffen, Mundpflegeprodukten, Therapeutika und Dentalmaterialien beteiligen wir uns an der Lösung von Fragestellungen bei der Entwicklung zahnmedizinischer und zunehmend auch kosmetischer Pflegeprodukte. Wir stellen für unsere Industriekunden maßgeschneiderte Analytik und effiziente Testmodelle für die Produktentwicklung zur Verfügung und nutzen moderne Visualisierungsmethoden zur Darstellung der Produktwirkung.

Dr. Andreas Kiesow

andreas.kiesow@iwmh.fraunhofer.de

Bewertung von Materialien der Medizintechnik

Wir untersuchen die morphologischen Eigenschaften von biologischen und biomedizinischen Materialien sowie von Kunststoffen der Medizintechnik vorrangig mit elektronenmikroskopischen Methoden und nutzen dafür spezielle Präparationstechniken und Abbildungsmethoden. Zusammen mit den ermittelten mechanischen Eigenschaften können wir anhand der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen das Einsatzverhalten der Materialien beschreiben.

Dr. Sven Henning

sven.henning@iwmh.fraunhofer.de

REKONSTRUKTIONSPLATTEN ZUR ÜBERBRÜCKUNG VON UNTERKIEFERDEFEKTEN

Kontinuitätsdefekte des menschlichen Unterkiefers, verursacht durch Trauma, Tumor oder Entzündung, werden durch sogenannte Rekonstruktionsplatten überbrückt. Diese Langzeitimplantate aus Titan oder Titanlegierungen besitzen eine ausreichende Biokompatibilität, erfüllen aber nicht immer die mechanischen Anforderungen. So kommt es während der postoperativen Phase in einigen Fällen zur Lockerung oder sogar zum Bruch der Rekonstruktionsplatte. Hauptursache für das mechanische Versagen der Titan-Rekonstruktionsplatten ist eine Vorschädigung durch Mikrorisse im Material, die durch Kaltverformung bei der chirurgischen Anpassung an den individuellen Unterkiefer entstehen. Die nicht beanspruchungsgerechte Befestigung mit Titanschrauben ist eine weitere Ursache für Komplikationen.

Entwicklung eines neuen Plattensystems

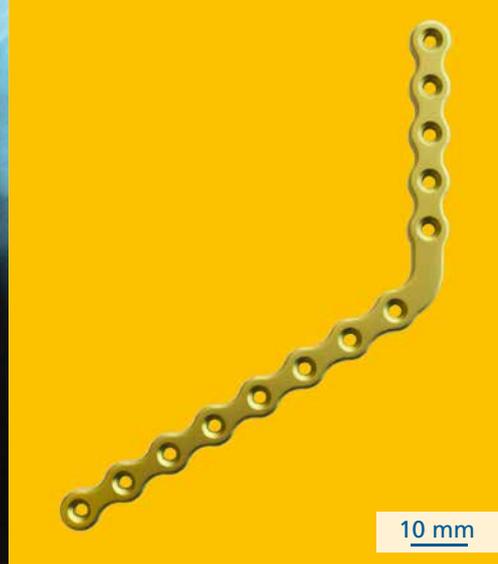
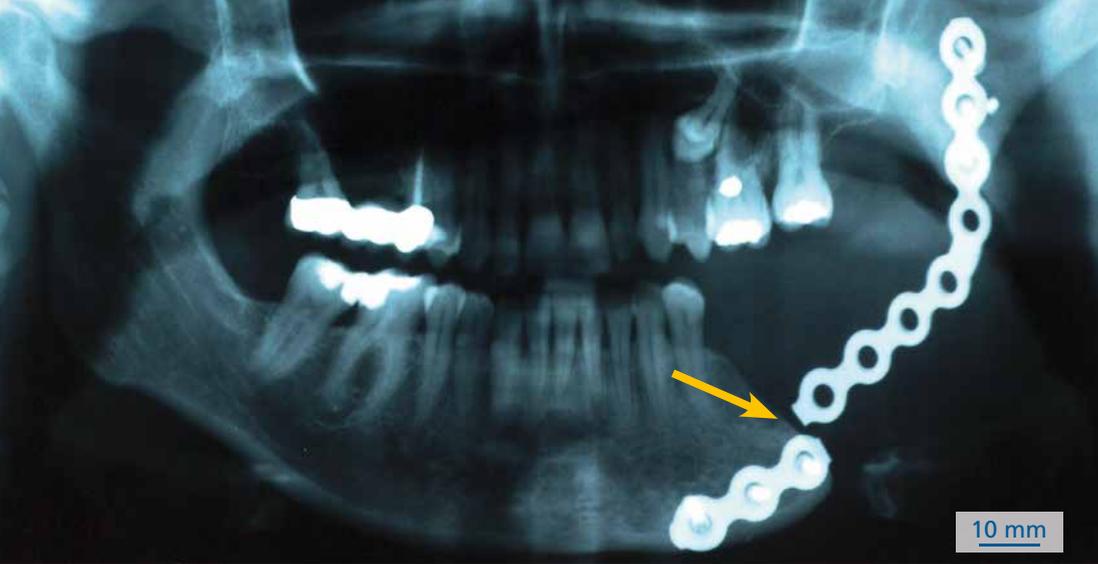
Ziel eines interdisziplinären Verbundprojektes, an dem Mediziner, Werkstoffwissenschaftler und Ingenieure beteiligt sind, ist es daher, ein alternatives Rekonstruktionsplattensystem zu entwickeln, das aus dem thermoplastischen Kunststoff Polyetheretherketon (PEEK) besteht. PEEK wird bereits erfolgreich in der Medizintechnik eingesetzt, ist hervorragend biokompatibel und hat bezüglich mechanischer Festigkeit und Elastizität geeignete Kennwerte.

Die Entwicklung von PEEK-Rekonstruktionsplatten erfordert zunächst eine Veränderung des bisherig verwendeten Plattendesigns. Es soll eine erhebliche Reduktion der mechanischen Beanspruchungen erreicht und damit das Risiko auftretender Komplikationen minimiert werden. Zusammen mit dem Industriepartner Medicon GmbH wurde der Weg beschritten, indi-

viduell anpassbare PEEK-Rekonstruktionsplatten mit üblichen, kosteneffizienten Fertigungsverfahren zu entwickeln. Um die vorkonfektionierte Rekonstruktionsplatte während der Operation individuell an den Kieferdefekt anpassen zu können, wird zudem ein beheizbares Biegewerkzeug konstruiert und gefertigt. Mit der Finite-Elemente Methode (FEM), durchgeführt von der Arbeitsgruppe von Prof. Wolf-Dietrich Knoll, Hochschule Merseburg (HOME), wurden die Belastungszustände von herkömmlichen Titan-Platten analysiert (Abbildung 1) und konstruktive Vorschläge für die neu entwickelten PEEK-Rekonstruktionsplatten erarbeitet.

Mechanischer Versuchsstand

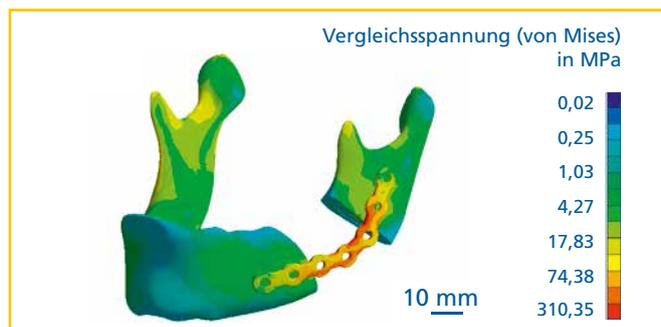
Zur Simulation der komplexen mechanischen Beanspruchung einer Rekonstruktionsplatte während des Kauens wurde am Fraunhofer IWM ein spezieller mechanischer Prüfaufbau entwickelt und aufgebaut. Der Prüfaufbau ermöglicht Lebensdauerversuche an einem eingespannten Unterkiefermodell mit integrierter Rekonstruktionsplatte (Abbildung 2 oben). Die wesentlichen Muskelgruppen, welche am Schließprozess des Unterkiefers beteiligt sind, werden mechanisch simuliert. Jeweils der linke und rechte Schläfenmuskel (Musculus Temporalis) sowie die großen Kaumuskeln (Musculus Masseter) werden durch spezielle Stahlseile und Umlenkrollen nachgestellt. Die Simulation der Muskelbewegung wird dabei von vier separat ansteuerbaren elektromagnetischen Aktoren übernommen. Ein Nachstellen der menschlichen Kaubewegungen wird ermöglicht, komplexe und variable Bewegungen sind umsetzbar. Die Aktoren sind aufgrund ihrer technischen Auslegung in der Lage, schnelle dynamische Bewegungen bei gleichzeitig hohen mechanischen Kräften zu gewährleisten.



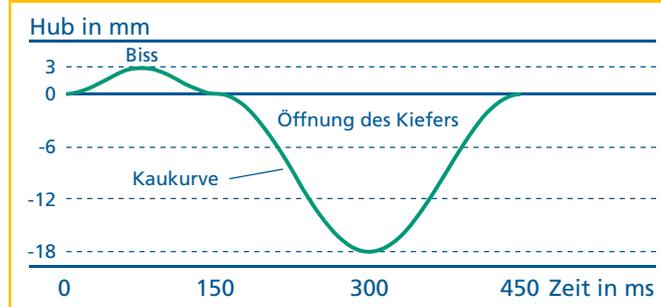
In vivo-Versagen einer Titan-Rekonstruktionsplatte am menschlichen Unterkiefer, aus: Maurer, Peter: Habilitationsschrift »Klinische und computergestützte Studie zur Designoptimierung von Unterkieferrekonstruktionsplatten« 2004 (links); Titan-Rekonstruktionsplatte für den menschlichen Unterkiefer (rechts).

ten. Für jeden Akteur wurde eine speziell angepasste Kaukurve erstellt (Abbildung 2 unten). Es sind Kaubewegungen mit einer Frequenz von 0,2 bis 3 Hz möglich, dabei beträgt die maximale Krafteinleitung 500 N. Langzeituntersuchungen von bis zu 2,5 Millionen Lastzyklen sind vorgesehen. Die Materialveränderungen während eines Testzyklus werden optisch mittels einer Kamera mit Charge-coupled Device CCD-Sensor erfasst und softwaregestützt ausgewertet. Anhand dieser Daten können Aussagen über die Alterung und Lebensdauer der Rekonstruktionsplatten getroffen werden. Eine anschließende Validierung der Daten mit den FEM-Berechnungen des Projektpartners wird die Auslegung der Platten optimieren und das Einsatzpotenzial der neuen PEEK-Rekonstruktionsplatten demonstrieren.

Dr. Stefan Schwan, Maik Rudolph



1 FEM-basierte, statisch-mechanische Spannungsanalyse bei einer Standard-Rekonstruktionsplatte aus Titan.



2 Untersuchung einer Standardplatte aus Titan im Versuchsstand: oberhalb des Kiefers mit Fraktur und Rekonstruktionsplatte ist der Kaubalken zu sehen (oben); Bewegungskurve für einen Kauzyklus exemplarisch für die Ansteuerung eines Aktors (unten).

REINIGUNG DENTALER APPARATUREN – TESTS ZUR MATERIALVERTRÄGLICHKEIT

Herausnehmbarer Zahnersatz, Zahnspangen, Sport- und Aufbisschienen sind weit verbreitete zahnmedizinische Hilfsmittel. Eingbracht in die Mundhöhle bildet sich auf der Oberfläche ein Biofilm. Um der damit verbundenen Plaqueakkumulation und Keimbildung entgegen zu wirken, ist eine Reinigung dieser Apparaturen erforderlich. Spezielle Reinigungsprodukte, wie zum Beispiel Tabletten, sind erhältlich; jedoch werden vom Verbraucher auch aggressive Desinfektionsmittel verwendet. Weiterhin wird oft auf die Reinigung mit Zahnpasta und -bürste zurückgegriffen. Da bei unsachgemäßer Anwendung Schädigungen der Materialoberfläche möglich sind, ist es von großem Interesse, die Materialverträglichkeit gegenüber verschiedenen Reinigungsprozeduren zu prüfen.

Reinigungssimulation

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem Industriepartner GlaxoSmithKline wurden am Fraunhofer IWM Testmethoden entwickelt, um angepasst an reale Reinigungsgewohnheiten die chemischen und physikalischen Wechselwirkungen zwischen Reinigungsprodukt und Materialoberfläche experimentell zu simulieren. Getestet wurden prothetische und kieferorthopädische Kunststoffe (unter anderem Ethylen-Vinyl-Copolymere, Co-Polyester, Polymethylmethacrylat). Zur Bewertung der Materialoberflächen wurden bildgebende, profilometrische und spektroskopische Analysetechniken herangezogen.

Reinigung versus Materialverträglichkeit

Abbildung 1 oben zeigt exemplarisch eine Aufbisschiene aus einem Ethylen-Vinyl-Copolymer. Die Probenoberflächen wiesen nach den Tests, die die Anwendung für die Dauer von zwei

Jahren simulierten, unterschiedliche Materialverträglichkeiten auf. Die Reinigung mit Zahnbürste und Zahnpasta führte zu massiven Oberflächenschädigungen, verbunden mit einer deutlichen Rauheitserhöhung (Abbildung 1 unten). Auch das Bürsten nur mit Wasser führte bei diesen relativ weichen Polymeren zu Oberflächenänderungen. Bei einer Reinigung mit Tabletten wurde eine sehr gute Materialverträglichkeit beobachtet, jedoch nicht bei Verwendung eines Natriumhypochlorithaltigen Desinfektionsmittels. Eine größere Oberflächenrauheit fördert mikrobielle Besiedlung und sollte daher vermieden werden.

Dr. Sandra Sarembe



1 Aufbisschiene (Knirscherschiene) aus Ethylen-Vinyl-Copolymer (oben). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Materialoberflächen einer Aufbisschiene nach verschiedenen Reinigungstests (unten): mit Tablettenreinigung (links), mit Desinfektionslösung (Mitte), mit Zahnbürste und Zahnpasta (rechts).

GRENZFLÄCHENDESIGN VON POLYMERMISCHUNGEN

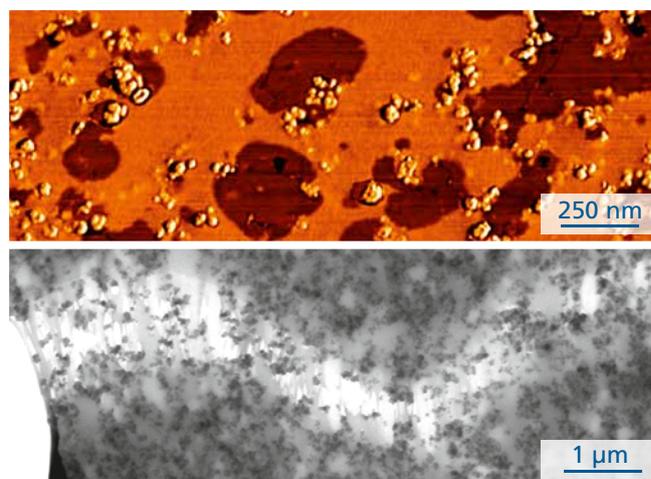
Reißfeste Folien mit exzellenten Barriereigenschaften und langlebige Kunststoff-Inlays für künstliche Knie- und Hüftgelenke haben eines gemeinsam: Sie bestehen aus Materialsystemen, in denen mehrere physikalisch oder chemisch unterschiedliche Polymerkomponenten zusammenwirken und maßgeschneiderte Eigenschaftsbilder ermöglichen. Durch geschickte Kombination bewährter Kunststoffe und die Zugabe spezieller Nanofüllstoffe können Polymerwerkstoffe für neue, anspruchsvolle Anwendungsprofile entwickelt werden. Da häufig die mechanischen Eigenschaften eines Werkstoffes im Vordergrund stehen, soll eine gute Balance aus Steifigkeit, Festigkeit und Zähigkeit erzielt werden. Darüber hinaus sind zum Beispiel Verschleißfestigkeit, Nachhaltigkeit und die Oberflächenkompatibilität mit biologischen Systemen zu berücksichtigen. Der Schlüssel für die erfolgreiche Auslegung solcher Werkstoffkombinationen liegt in der adäquaten Gestaltung und Modifizierung der Grenzflächen zwischen den Materialkomponenten.

Nanohohlraumbildung und Fibrillierung

Die Beurteilung der Morphologie von Polymermischungen, Nanokompositen und deren Grenzflächen verlangt die gleichzeitige Darstellung der Komponenten durch elektronenmikroskopische und rasterkraftmikroskopische Verfahren. Die kontrastreiche Abbildung der Phasenmorphologie von Polymermischungen (Abbildung 1 oben) ermöglicht die Quantifizierung von Domänengrößen und damit die Beurteilung der Verträglichkeit. Durch die gleichzeitige Abbildung der Nanopartikel kann überprüft werden, ob die chemische Oberflächenmodifizierung eine homogene, feine Verteilung des Füllstoffes gewährleistet beziehungsweise eine Adressie-

rung der Füllstoffe in eine bevorzugte Domäne gelingt. Die Festigkeit der Grenzflächen in solchen Systemen kann durch mikromechanische Analysen evaluiert werden. Abbildung 1 (unten) zeigt eine durch einen Dehnversuch erzeugte Deformationszone. Die gut dispergierten Partikel erhöhen die Festigkeit des Materials. Unter wachsender Zugspannung erfolgt eine partielle Ablösung der Polymermatrix von den Füllstoffteilchen. Die im Werkstoff induzierten Prozesse der Nanohohlraumbildung und Fibrillierung können zu einer signifikanten Zähigkeitssteigerung des Materials genutzt werden.

Dr. Sven Henning, Matthias Menzel



1 *Phasenseparation in einer Polymermischung mit Nanofüllstoff, AFM-Aufnahme (oben), Deformationszone in einem Nanokomposit, TEM-Aufnahme (unten).*

KOMPONENTEN DER MIKROELEKTRONIK UND MIKROSYSTEMTECHNIK

GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Matthias Petzold | Telefon +49 345 5589-130 | matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

Fokus

Wir untersuchen Materialeigenschaften von integrierten und diskreten Halbleiterbauelementen, von mikro- und leistungselektronischen Packages und Baugruppen, von komplexen Steuerteilen und integrierten Mikrosystemen sowie von nanostrukturierten Funktionsmaterialien. Unsere Leistungen haben das Ziel, den Einfluss von Fertigungsprozessen und Einsatzbedingungen auf die Materialeigenschaften zu beherrschen und Defektbildungen und Ausfallrisiken zu analysieren und zu vermeiden. Dafür arbeiten wir eng mit Firmen der Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie zusammen, vor allem im Automobil-Bereich. Wir tragen zur Optimierung technologischer Prozessschritte, zur Sicherung von Qualität und Funktion sowie zur Erhöhung der Ausbeute in der Fertigung und der Zuverlässigkeit in der Anwendung bei. Gemeinsam mit Geräteausrüstern forschen wir an innovativen Methoden für die nano- und mikrostrukturelle Analytik sowie für die mechanische Prüfung und Modellierung, die für die industrielle Fehlerdiagnostik, Prüftechnik, Qualitätssicherung und Lebensdauerprognostik benötigt werden.

Leistungsspektrum

- Mikro- und nanostrukturelle Analyse von fertigungs- und einsatzbedingten Materialreaktionen
- Physikalische Fehlerdiagnostik an Halbleiterbauelementen, MEMS, Packages und komplexen Baugruppen
- Ursachenanalyse von Feldausfällen und Rückläufern
- Layout-Modifikation von ICs mittels Ionenstrahltechniken
- Charakterisierung von mechanischen, thermischen und physikalischen Werkstoffdaten
- Modellbildung und Simulation des Einsatzverhaltens
- Verfahrensentwicklung für mikrostrukturelle Diagnostik, mechanische Prüftechnik und Qualitätssicherung

Bemerkenswertes aus 2013

Wir haben große Fortschritte beim Aufbau des Forschungsfelds Leistungselektronik erzielt. Im Rahmen unterschiedlicher Projekte konnten wir hier neue Kompetenzen für die TEM-Fehlerdiagnostik an schnellen Leistungsschalter-Halbleiterbauelementen auf GaN-Basis aufbauen. Arbeiten zur Charakterisierung von Mikrostruktur und Qualitätseigenschaften von Substraten und Chipkontaktierungen haben beispielsweise im BMBF-Vorhaben HiT-Modul zur Entwicklung eines neuen temperaturstabilen Modulkonzepts für Luft-, Raumfahrt- und Automobilanwendungen durch unsere Industriepartner beigetragen. Dafür war es unter anderem nötig, mikrostrukturelle Diagnostikverfahren wie die zerstörungsfreie Ultraschallmikroskopie oder Verfahren der effizienten Laser-Zielpräparationen in Zusammenarbeit mit Geräteherstellern gezielt weiterzuentwickeln.

An unserem Center für Angewandte Mikrostrukturdiagnostik CAM fand ein Industrieworkshop »Fehlerdiagnostik und Materialcharakterisierung für die Leistungselektronik« statt, der große Resonanz fand. Zudem haben wir die Zusammenarbeit mit dem European Center for Power Electronics (ECPE) etabliert und sind als neues Kompetenzzentrum in die ECPE aufgenommen worden. Daher bildet der Kompetenzaufbau für die Leistungselektronik auch den Schwerpunkt für unsere Gruppenbeschreibungen im vorliegenden Jahresbericht.

Ein weiterer Höhepunkt war der erfolgreiche Abschluss des vom BMBF und dem ENIAC Joint Undertaking geförderten Projekts ESIP, in dem wir aktiv zur Entwicklung neuer Fehlerdiagnostik-Verfahren für innovative 3D-integrierte mikroelektronische Bauelemente beigetragen haben. Hierbei hat unser Partner PVA TePla Analytical Systems ein neues Hochfrequenz-Ultraschallmikroskop erfolgreich auf den Markt gebracht. Darüber werden wir auf dem derzeit in Vorbereitung befindlichen CAM-Workshop 2014 berichten.



Von links: Prof. Dr. Thomas Höche, Prof. Dr. Matthias Petzold, Frank Altmann, Sandy Klengel und Falk Naumann.

Gruppen

Bewertung mikroelektronischer Systemintegration

Wir analysieren die Werkstoffe und Komponenten der Aufbau- und Verbindungstechnik mikroelektronischer Bauelemente, Baugruppen und Systeme, um Fehlermechanismen zu erkennen, diese zu vermeiden und die Fertigungsqualität im Packaging sowie die Zuverlässigkeit im Einsatzverhalten abzusichern. Schwerpunkte sind unterschiedliche Chipkontaktierungs-, Montage- und Substrattechnologien für die Automobil- und Leistungselektronik.

Prof. Dr. Matthias Petzold

matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

Stellvertretende Gruppenleiterin: Sandy Klengel

sandy.klengel@iwmh.fraunhofer.de

Charakterisierung Mikrosysteme

Wir analysieren die Festigkeit und das Einsatzverhalten von Halbleitermaterialien und Si-Mikrosystemen mittels mechanischer Prüftechnik, numerischer Simulation und mikrostruktureller Analytik. Darüber hinaus entwickeln wir Mikroprüfverfahren für die Bestimmung lokaler Werkstoffdaten an Bauelementen der Mikroelektronik. Diese Kompetenzen setzen wir für weiterentwickelte Materialmodelle und die Vorhersage von Verformungsverhalten, Versagens- oder Lebensdauereigenschaften ein.

Prof. Dr. Matthias Petzold

matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

Stellvertretender Gruppenleiter: Falk Naumann

falk.naumann@iwmh.fraunhofer.de

Nanomaterialien und Nanoanalytik

Wir charakterisieren die Mikro- und Nanostruktur von Materialien und Systemen für glaskeramische, optische und magnetische Werkstoffe sowie Materialien der Nanotechnologie. Wir betreiben Oberflächenanalytik und stellen Mikrostruktur-Eigenschafts-Korrelationen her, um Materialentwicklungen zu unterstützen. Zudem entwickeln wir artefaktfreie Hochdurchsatz-Präparationsverfahren für die Mikrostrukturdiagnostik.

Prof. Dr. Thomas Höche

thomas.hoeche@iwmh.fraunhofer.de

Diagnostik Halbleitertechnologien

Wir betreiben Ursachenforschung für Materialwechselwirkungen, Defekte und funktionale Fehlerursachen in mikroelektronischen integrierten Schaltkreisen und Halbleiter-Bauelementen und setzen dafür sehr leistungsfähige hochauflösende Analysetechniken ein. Unser Ziel besteht darin, Herstellungstechnologien zu verbessern, Ausfälle während der Anwendung zu vermeiden und Fehleranalysetechniken weiterzuentwickeln.

Frank Altmann

frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de

NEUES TEMPERATURSTABILES MODULKONZEPT FÜR DIE LEISTUNGSELEKTRONIK

Die Leistungselektronik bestimmt entscheidend die Effizienz bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie mit. Sie nimmt daher eine technologische Schlüsselstellung für die regenerative Energietechnik sowie die Verkehrs-, Industrie- oder Beleuchtungstechnik ein. Neben Kostenfaktoren spielen in der Anwendung vor allem Aspekte der Zuverlässigkeit und Robustheit eine entscheidende Rolle. Besonders im Bereich Automobil und Avionik müssen leistungselektronische Systeme aufgrund sehr hoher Anforderungen anspruchsvollen Einsatzbedingungen Rechnung tragen. Häufige Last- und Temperaturwechsel, bedingt durch hohe Leistungsdichten und externe Belastungen, verursachen hier zyklische thermomechanische Beanspruchungen, welche die Lebensdauer wesentlich beeinflussen. Um die Zuverlässigkeit zu optimieren, müssen daher neue innovative Modulkonzepte sowie robuste Aufbau- und Verbindungstechniken (AVT) entwickelt werden.

Vorgehensweise

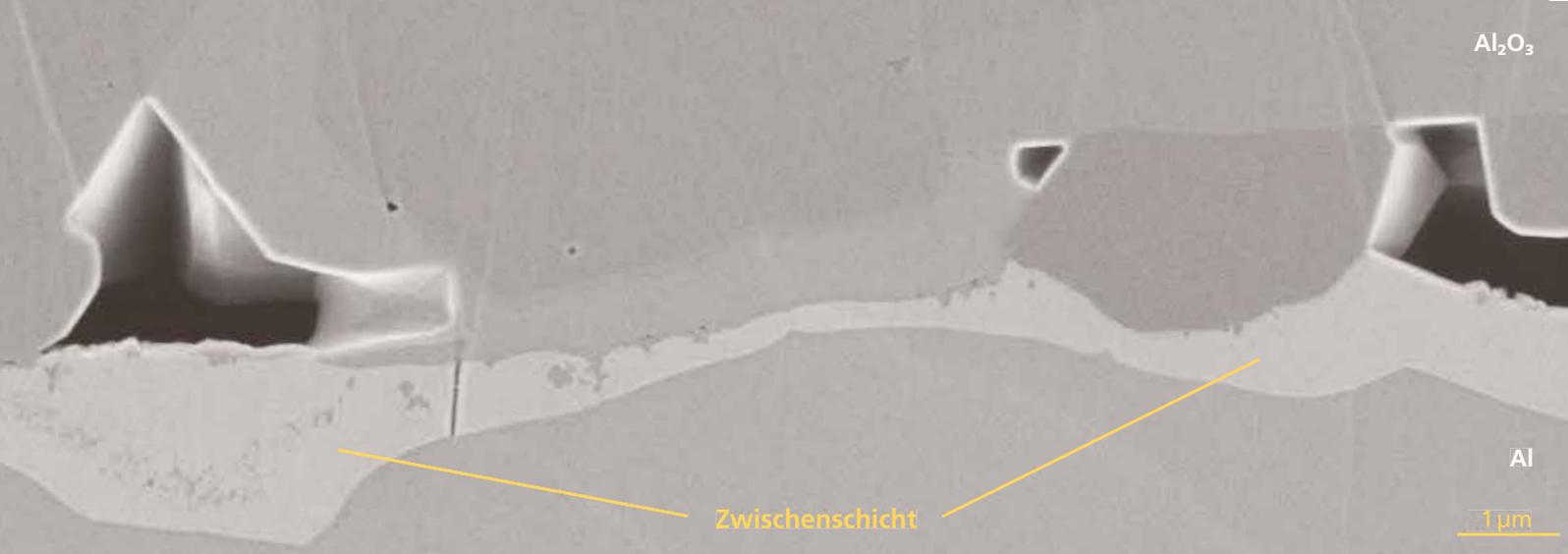
Im BMBF-Verbundprojekt »HiT-Modul« wurde gemeinsam mit Partnern aus Universitäten und der Industrie ein Modulkonzept für den Einsatz in thermisch hoch belasteten Automobil-, Luft- und Raumfahrtanwendungen erforscht. Der dabei verfolgte Ansatz umfasst unter anderem die Substitution bisher verwendeter Direct Copper Bonded (DCB)-Modulsubstrate durch neue Direct Aluminum Bonded (DAB)-Substrate. Zusätzlich wurden auch verbesserte Prozesse für die Chip-Montage (Die-Attach) und die Last- und Hilfsanschlüsse, wie beispielsweise Silbersintern oder Reaktives Bonden, untersucht. Das Fraunhofer IWM bewertete dabei das Einsatzverhalten der gezielt belasteten,

neuen, eingesetzten Werkstoffkombinationen und Kontaktierungstechnologien durch mikrostrukturelle Diagnostik und werkstoffmechanische Analysen.

Ausgewählte Ergebnisse

Im Projekt wurden zunächst materialwissenschaftliche Untersuchungen der Bindungs- und Verzahnungsmechanismen zwischen Aluminium (Al)- beziehungsweise Kupfer (Cu)-Metallisierung und Aluminiumoxid (Al_2O_3)-Keramik im Vergleich von DAB- und DCB-Technologie durchgeführt. An der Grenzfläche $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ wird ein ternäres Al-Fe-Si-Phasensystem gebildet (siehe großes Bild oben rechts). An der Grenzfläche $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$ wurden Kupferoxid und ein Kupfer-Aluminat-Spinell mit Mn- und Si-Einlagerungen gefunden. Die Ausbildung von Übergangsphasen in beiden Grenzflächen ist die Grundlage für eine sehr stabile delaminationsfreie Verbindung zwischen Keramik und Metallisierung. Die Qualität der Metall-Keramik-Bindungen in der Grenzfläche beider Substrate kann daher als vergleichbar angesehen werden. Dagegen unterscheidet sich das Materialverhalten in den Zuverlässigkeitstests.

In Temperaturschockwechseltests (von -55 °C bis 125 °C) erreichen leistungselektronische Module mit DAB-Substrat im Vergleich zu Modulen mit DCB-Substrat bei gleichem Aufbau eine deutlich längere Lebensdauer. Aufgrund des geringeren E-Moduls sowie der niedrigeren Fließspannung des Aluminiums sind die in Metallisierung und Keramik auftretenden lokalen thermomechanischen Beanspruchungen geringer. Die dadurch bedingte höhere Thermowechselbeständigkeit wirkt sich nicht nur auf die Zuverlässigkeit in der Grenzfläche Keramik/Metallisierung, sondern auch auf die der Lötstellen

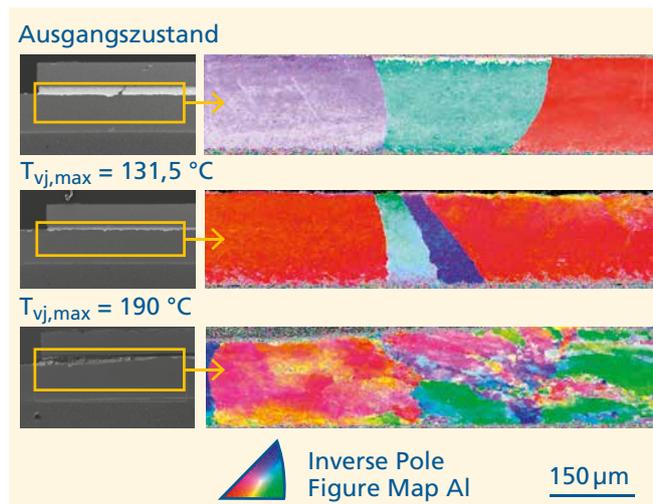


Bildung eines ternären Al-Fe-Si-Phasensystems am Bondinterface zwischen Aluminium (Al)-Metallisierung und Aluminiumoxid (Al₂O₃)-Keramik.

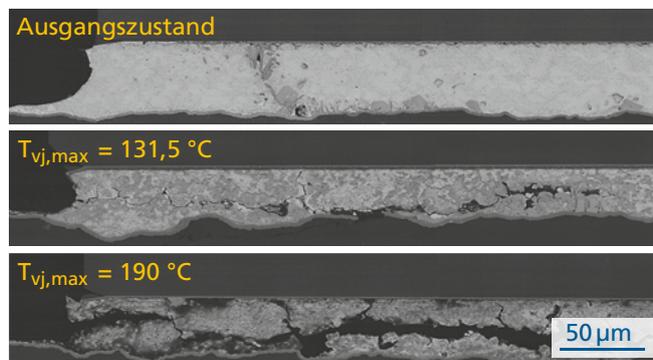
und Lastanschlüsse aus. Nachteile in der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit des Aluminiums im Vergleich zum Kupfer können durch ein angepasstes Substratdesign berücksichtigt werden.

Im aktiven Lastwechseltest erfüllen Module mit DAB-Substraten trotz höherem Temperaturhub (DCB: 108 K, DAB: 127 K) die gleichen Zuverlässigkeitskriterien wie Module mit DCB-Substraten. Bei End of Life-Tests mit deutlich weiter gestiegenen Temperaturhuben treten schließlich sehr hohe Verformungen der Al-Metallisierung der DAB-Substrate auf, wie Ergebnisse der Electron Backscatter Diffraction (EBSD)-Messungen in Abbildung 1 zeigen. Als Folge bilden sich Risse in der Verbindung Chip-Lot (Abbildung 2), die die Lebensdauer der Module begrenzen.

Bianca Böttge, Sandy Klengel



1 EBSD-Untersuchungen der Al-Metallisierung von Modulen mit DAB-Substraten nach Lastwechseltests in Abhängigkeit der Junction-Temperatur ($T_{vj,max}$).



2 Rasterelektronenmikroskopische Querschliffaufnahmen der Chip-Lot-Verbindung von Modulen mit DAB-Substraten nach Lastwechseltests (aus Abbildung 1).

TEM-CHARAKTERISIERUNG VON GaN-BASIERTEN TRANSISTOREN

Transistoren mit hoher Elektronenbeweglichkeit (High Electron Mobility Transistors, HEMT) werden in Telekommunikations- und Radar-Anwendungen für hohe Schaltfrequenzen im oberen GHz-Bereich eingesetzt. Moderne Technologien basieren auf GaN-Halbleitersubstraten mit speziellen Heteroschichten, die die Ausbildung eines zweidimensionalen Elektronengases im leitfähigen Kanal bewirken. Durch den relativ großen GaN-Bandabstand können hohe Sperrspannungen erreicht und hohe Leistungen unter sehr hohen Frequenzen geschaltet werden. Die hohen Leistungsdichten bewirken aber auch neue Degradationsmechanismen, deren physikalische Ursachen bisher nicht vollständig verstanden sind. Bereits geringe Veränderungen in der atomaren Struktur der Übergitter-Grenzflächen bewirken deutliche Änderungen im elektrischen Verhalten. Das Fraunhofer IWM charakterisiert die Zusammenhänge zwischen Mikrostruktur und elektrischen Kenndaten, analysiert physikalische Ausfallmechanismen und leitet davon ausgehend Beiträge zur Optimierung von HEMT-Technologien ab.

Höchstauflösende TEM-Analytik

Für die Transmissions-Elektronen-Mikroskopie- oder TEM-Charakterisierung der GaN-Halbleitertechnologie werden artefaktfreie elektronentransparente Proben (Dicke < 50 nm) benötigt. Dafür wurden spezielle Zielpräparationstechniken basierend auf fokussierender Ionenstrahltechnik mit gekoppelter Ar-Ionenpolitur, Dickenkontrolle und Clip-Greifer-Entnahmetechnik entwickelt. Für die Analytik wird ein modernes Höchstauflösungs-Transmissionselektronenmikroskop eingesetzt. Ausgerüstet mit einer Hochstromquelle und einem hochempfindlichen Röntgendetektor lassen sich geringste Elementkonzentrationen mit lateraler Auflösung < 1 nm

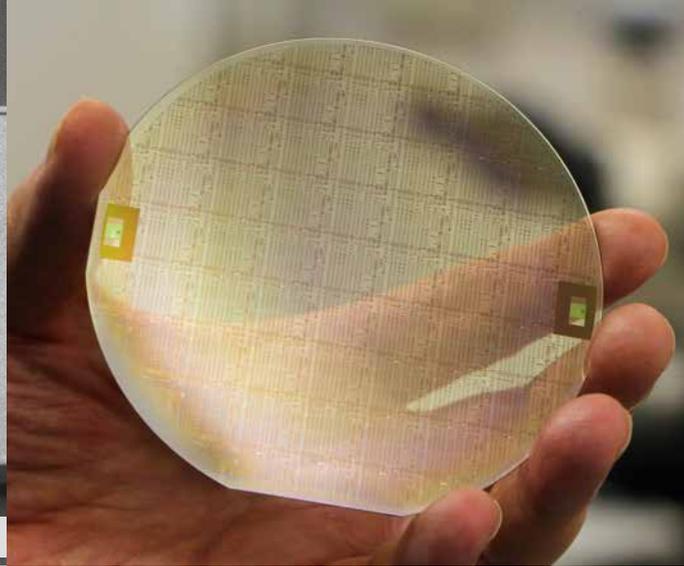
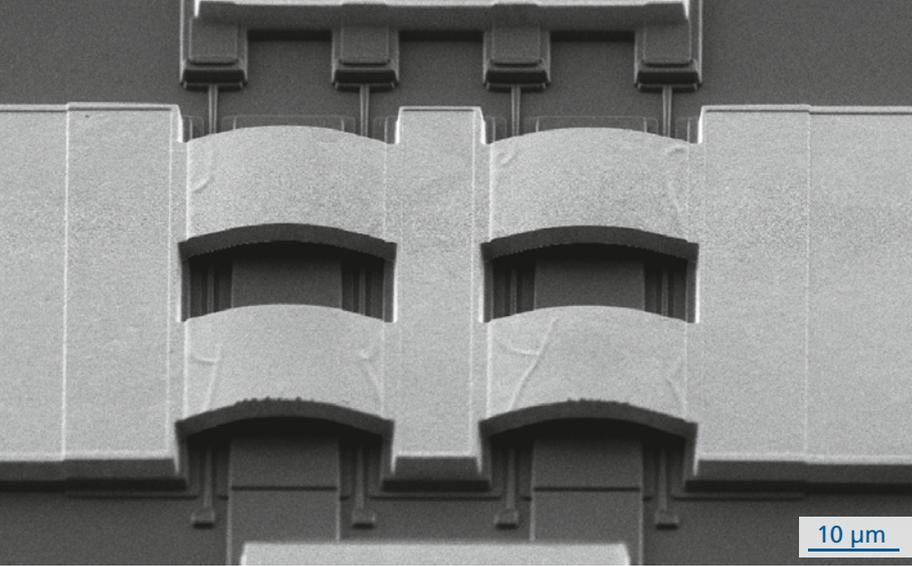
nachweisen. Durch die Aberrationskorrektur der Objektivlinse können Grenzflächen in atomarer Auflösung abgebildet werden. Ein Elektronenenergieverlustspektrometer erlaubt es, verschiedene chemische Bindungszustände zu unterscheiden.

Technologiecharakterisierung

Um die Auswirkungen der Herstellungsprozesse auf die elektrischen Eigenschaften der GaN-Transistoren untersuchen zu können, ist eine detaillierte Analyse der einzelnen Komponenten des Transistors wie der Heteroschichten und Anschlusskontakte erforderlich (Abbildung 1 oben). Source- und Drain-Anschlüsse werden bei hohen Temperaturen in die Oberfläche des Substrats legiert. Die dabei auftretenden Reaktionen bestimmen den Übergangswiderstand der gebildeten ohmschen Kontakte. In Abhängigkeit vom verwendeten Prozess sind die Oberflächen des GaN verschieden terminiert und haben dadurch einen signifikanten Einfluss auf das dynamische elektrische Verhalten. Elementspezifische Untersuchungen können die dafür verantwortlichen ultradünnen Übergangsschichten zum Isolator sichtbar machen (Abbildung 1 Mitte). Des Weiteren entscheidet die Ausbildung der Grenzfläche zwischen dem Gate und dem Substrat über das Schaltverhalten des Transistors mit. Mögliche Schwächen der Anbindung können mit höchster Ortsauflösung aufgedeckt werden (Abbildung 1 unten).

Aufklärung von Alterungsdefekten

Veränderungen im Betrieb lassen sich in atomaren Dimensionen nachweisen. Es konnte gezeigt werden, dass metallische Bestandteile des Gate-Anschlusses an der Grenzfläche zum Halbleiter diffundieren. Gold als obere Metallschicht gelangt dabei an den strukturierten Gate-Rändern bis in die

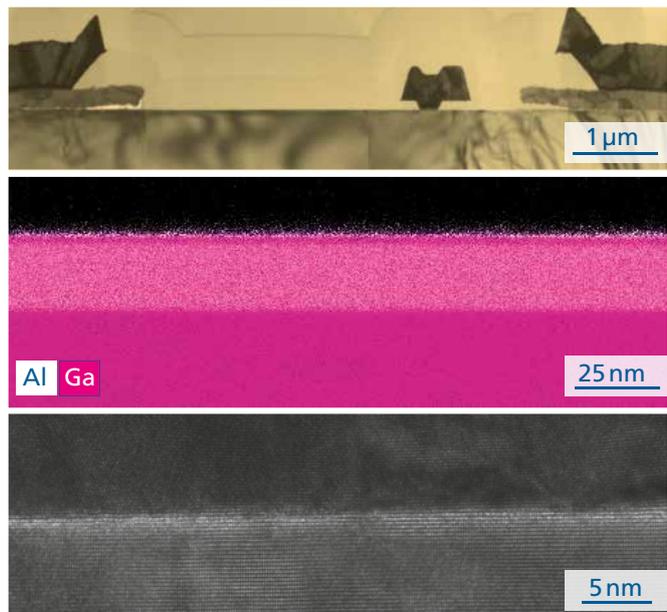


Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Hochfrequenztransistors (links) und strukturierter SiC-GaN-Wafer (rechts).

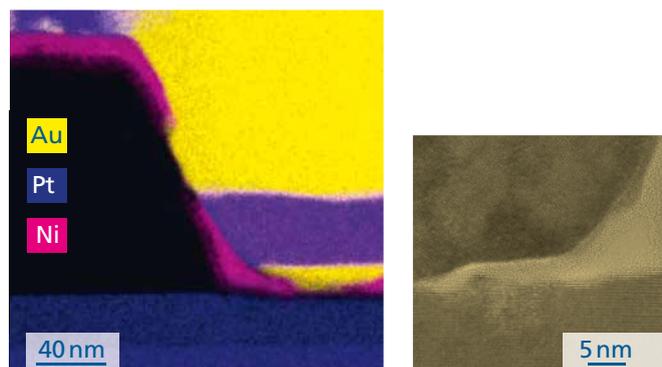
Grenzfläche des Schottky-Kontaktes (Abbildung 2 links). Darüber hinaus wurden an elektrisch ausgefallenen Bauteilen Substratdefekte (Pits) unmittelbar an der Gate-Kante gefunden. Diese Defekte entstehen durch extrem hohe elektrische Feldstärken, die über den inversen Piezoeffekt zur Degradation des atomaren Gitters im Substrat führen (Abbildung 2 rechts). Wenn die Defektausbildung den leitfähigen Kanal erreicht, wird die Performance des Transistors stark beeinträchtigt.

Die höchstauflösende TEM-Analytik wird erfolgreich in der Zusammenarbeit mit Industriepartnern eingesetzt und liefert einen wichtigen Beitrag für die Optimierung von Fertigungstechnologien und die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer moderner GaN-HEMT-Bauteile.

Dr. Andreas Graff, Michél Simon-Nasajek



1 Transistorstruktur (oben), Aluminium an der GaN-Isolator-Grenzfläche (Mitte), GaN-Gatemetall-Grenzfläche mit Sauerstoffbelegung (unten).



2 Diffusion und Degradation an den Gate-Kanten.

LASERBASIERTE PRÄPARATIONSVERFAHREN FÜR DIE MATERIALANALYTIK

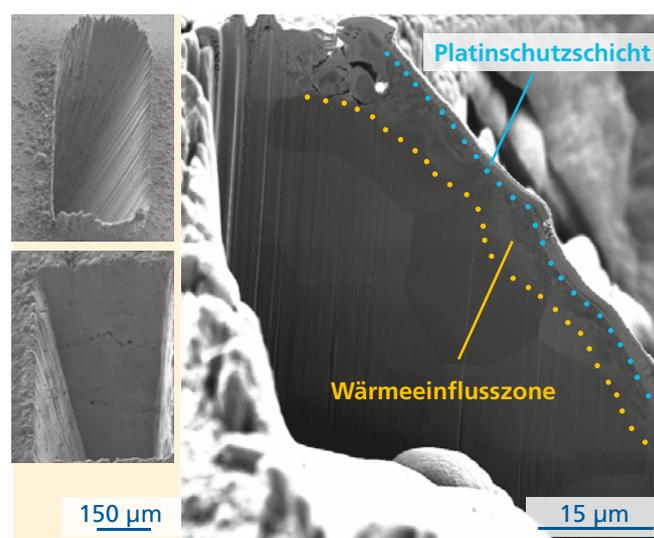
Effizient einsetzbare Präparationsverfahren, mit denen relativ große Materialvolumina mit hoher Rate abgetragen werden können, stellen eine entscheidende Voraussetzung für die großflächige 3D-Charakterisierung der inneren Mikrostruktur von Werkstoffen oder tief vergrabenen Grenzflächen in Materialverbänden dar. Dabei stoßen sowohl rein mechanische Verfahren als auch ionenstrahlbasierte Techniken an ihre Grenzen. Ein sehr viel versprechender Ansatz besteht im Einsatz von Lasermikrobearbeitungstechniken, mit denen bei einer lateralen Positioniergenauigkeit im Bereich einiger Mikrometer eine um sechs Größenordnungen höhere Abtragsrate als mit einem fokussierten Gallium-Ionenstrahl erreicht werden kann. Hervorgegangen aus dem mit Beteiligung des Fraunhofer IWM bearbeiteten Projekt »FullControl« wird seit 2012 am Fraunhofer Center für Angewandte Mikrostrukturdiagnostik CAM in Halle die weltweit erste »Auriga Laser CrossBeam« der Firma Carl Zeiss Microscopy betrieben.

Erzeugung schädigungsarmer und zugleich tiefer Schnitte

Die Lasermikrobearbeitung nutzt Photonen zum Einkoppeln der Energie für den Materialabtrag und ist damit per se kontaminationsfrei. Bei hinreichend hoher Leistungsdichte können alle anorganischen Materialien bearbeitet werden. Bei Ablationstiefen bis über 1 mm werden Ablationsraten von $75\,000\ \mu\text{m}^2/\text{s}$ (Stahl) sowie $550\,000\ \mu\text{m}^2/\text{s}$ (Ölschiefer) erreicht. Abbildung 1 (links) zeigt, dass durch ein definiertes Gegenkippen auch senkrechte Schnittflanken erzielt werden können, was die Präparation vergrabener Strukturen auf der Basis metrologischer Daten vereinfacht. Eine geringfügige thermische Belastung ist bei der Laserablation nicht zu vermeiden. Im hier eingesetzten Lasersystem ist die Wärmeeinflusszone jedoch nicht mehr als

wenige Mikrometer ausgedehnt, wie Abbildung 1 (rechts) am Beispiel von Edelstahl zeigt. Damit sind die Voraussetzungen für die effiziente und hinsichtlich des Schädigungseintrags beherrschbare Freilegung in großer Tiefe vergrabener Strukturen gegeben. Zukünftig wird das Verfahren auch für die Fehleranalytik an den relativ großen Bauelementen der Leistungselektronik, für dreidimensional integrierte mikroelektronische Systeme oder für Proben aus der Rohstoffexploration zur Verfügung stehen.

Martin Ebert



1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen laserbearbeiteter Strukturen in einem Edelstahl (links oben) und einem Ölschiefer (links unten). Die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone für die Stahlbearbeitung ist in der rechten REM-Abbildung gut zu erkennen.

AKUSTISCHE SPEKTROSKOPIE AN LEISTUNGSELEKTRONISCHEN KOMPONENTEN

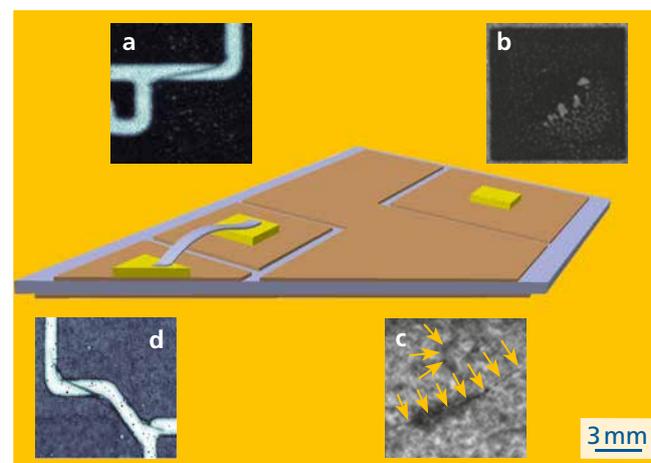
Die rasch wachsende Bedeutung der Leistungselektronik als Schlüsseltechnologie für energieeffiziente Technologien und Produkte treibt nicht nur die System- und Prozessentwicklung voran, sondern führt gleichzeitig zu neuen Anforderungen an die Produktion und Fertigungsumgebung. Der Einsatz leistungselektronischer Bauelemente im Automobil, zum Beispiel für Hybrid-Antriebskonzepte, erfordert neben massenfertigungstauglichen Herstellungsverfahren auch geeignete leistungsfähige und zuverlässige Verfahren der Qualitätssicherung. Eine abgesicherte Güte und Defektfreiheit ist ausschlaggebend für die Qualität leistungselektronischer Komponenten im Auslieferungszustand und beeinflusst darüber hinaus auch die Zuverlässigkeitseigenschaften im Einsatz.

Entwicklung von Verfahren der akustischen Rastermikroskopie

Qualität und Zuverlässigkeit in Leistungselektronik-Modulen werden in hohem Maße durch die Prozesse der Aufbau- und Verbindungstechnik bestimmt. Typische Defekte wie fehlerhafte Kontaktierungen, Rissbildungen, Voids, Delaminationen und ungenügende Anbindung müssen in der Qualitätssicherung durch zerstörungsfreie Prüfverfahren erfasst werden. Neben optischen Inspektionen und Röntgenanalysen eignet sich dafür besonders die akustische Rastermikroskopie. In enger Kooperation mit dem Gerätehersteller PVA Tepla Analytical Systems entwickelt das Fraunhofer IWM angepasste Auswertverfahren für die detektierten akustischen Signale. Mit den daraus errechneten Signalparametern lässt sich die Bewertung leistungselektronischer Baugruppen effizienter und zuverlässiger gestalten. Zur Erhöhung der Aussagekraft erfolgt die Analyse bevorzugt im Spektralraum, wodurch sich die Ergebnisse zur

vereinfachten Evaluierung als parametrische Bilder oder im Zuge einer automatisierten Inspektion parametrisiert erfassen lassen. Abbildung 1 verdeutlicht die akustische Defektlokalisierung verschiedener Fehlermechanismen in einem Leistungselektronik-Modul. Neue Silbersinter-Kontaktierungstechniken werden die Bedeutung der akustischen Rastermikroskopie als Qualitätssicherungsverfahren für die Leistungselektronik zukünftig noch weiter verstärken.

Dr. Sebastian Brand



1 Darstellung einer leistungselektronischen Komponente mit Defektmechanismen: Risse in Keramiksubstrat (a, d), Lunker in der Fügeverbindung zwischen Silizium-Die und Metallisierung (b), Riss im Substrat unterhalb der Metallisierung (c); der Maßstab gilt für a-d.

FRAUNHOFER-CENTER FÜR SILIZIUM-PHOTOVOLTAIK CSP

Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität ZTN

LEITER FRAUNHOFER CSP UND ABTEILUNGSLEITER ZTN

Prof. Dr. Jörg Bagdahn | Telefon +49 345 5589-129 | joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

Fokus

Wir betreiben angewandte Forschung in den Themengebieten der Herstellung von Siliziumwafern und mechanischen Bewertung von Siliziumwafern und Solarzellen. Wir führen elektrische und mikrostrukturelle Charakterisierungen von Solarzellen und Materialien der Photovoltaik durch. Zudem entwickeln wir einerseits Materialien zum Lichtmanagement und der optischen Materialcharakterisierung und andererseits Verfahren zur Herstellung von Solarmodulen sowie der Zuverlässigkeits- und Ertragsanalyse von Solarmodulen.

Leistungsspektrum

- Strukturelle, chemische, elektrische und optische Analyse von Materialien der Photovoltaik und Solarzellencharakterisierung
- Entwicklung von Beschichtungs- und Dünnschichttechnologien
- Anwendung bruchmechanischer Verfahren zur Reduzierung der Bruchrate von Wafern und Zellen
- Entwicklung von Herstellverfahren für dünne Siliziumwafer
- Zuverlässigkeitscharakterisierung und -auslegung von Solarmodulen
- Entwicklung von Solarmodultechnologiekonzepten und von Materialien für Solarmodule

Bemerkenswertes aus 2013

Im 19. September wurde das Fraunhofer CSP in Anwesenheit des Ministerpräsidenten des Landes Sachsen-Anhalt, Dr. Reiner Haseloff, dem Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Alfred Gossner, und rund 250 Gästen feierlich eröffnet. In diesem Neubau stehen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine Labor- und Technikumsfläche von 2 560 m² und eine Bürofläche von 1 120 m² zur Verfügung. Mit der Fertigstellung des Neubaus konnten nun die bisherigen Standorte in Halle (Saale) und Umgebung zusammengeführt werden. Gemeinsam mit dem zweiten Standort des Fraunhofer CSP, dem 2012 eröffneten Modultechnologiezentrum MTZ in Schkopau, sind die Neubauaktivitäten des Fraunhofer CSP damit abgeschlossen.

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten lag 2013 in der Reduzierung der Fertigungskosten bei der Herstellung von Solarmodulen bei gleichzeitiger Erhöhung der Modulleistung. In einem gemeinsamen Projekt mit verschiedenen Industriepartnern wurde auf Modulebene der Einfluss unterschiedlicher leistungssteigernder Methoden, wie der Einsatz von dünnen Frontseitenglas, die Nutzung von Antireflexionsbeschichtungen, die Verwendung von hochtransparenten Einbettungsmaterialien und die Integration von reflektierenden elektrischen Verbindern, untersucht. Mit den beschriebenen Methoden konnte die Leistung der entwickelten Solarmodule um 5 Prozent gesteigert werden. Die Untersuchungen wurden als eine der besten 20 Beiträge bei der diesjährigen europäischen Photovoltaikkonferenz PVSEC in Paris ausgewählt.



Von links: Dr. Matthias Ebert, Dr. Christian Hagendorf, Dr. Hartmut Schwabe, Prof. Dr. Jörg Bagdahn und Dr. Jens Schneider.

Gruppen

Diagnostik Solarzellen

Wir beschäftigen uns mit der elektrischen Charakterisierung von Solarzellen, der Spurenelementanalytik in Ausgangsmaterialien und Prozessstoffen sowie der mikrostrukturbasierten Defektdiagnostik im Photovoltaikmodul – technologieübergreifend vom Silizium bis zum flexiblen Dünnschichtmodul. Zudem entwickeln und charakterisieren wir Schichtsysteme und Laserstrukturierungen für die Solarzellen der nächsten Generation.

Dr. Christian Hagendorf

christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de

Modulzuverlässigkeit

Im Fokus stehen materialwissenschaftliche Analysen, mechanische Versuche und Charakterisierungen, Leistungsmessungen in Labor und Feld sowie mechanische und thermomechanische Finite-Elemente Simulation von Solarmodulen. Wir untersuchen Solarmodule hinsichtlich der Zuverlässigkeitsaspekte, optimieren sie und entwickeln technologische Prozesse und Materialien weiter. So erhalten Partner und Kunden eine umfassende, einzigartige Charakterisierung von Modulen aus einer Hand.

Dr. Matthias Ebert

matthias.ebert@csp.fraunhofer.de

Siliziumwafer

Wir entwickeln Verfahren zur Herstellung dünner Siliziumwafer und zur Bewertung mechanischer Eigenschaften von Wafern und Solarzellen. Wir betrachten die gesamte Prozesskette: von der Vereinzelung von Ingots über das Wafersägen bis hin zur Vermessung und Sortierung. Um die Bruchrate zu reduzieren

und die Ausbeute zu erhöhen, charakterisieren wir die Festigkeit und untersuchen industrielle Wafer- und Zelllinien.

Dr. Hartmut Schwabe

hartmut.schwabe@csp.fraunhofer.de

Optische Materialien und Spektroskopie

Zur Charakterisierung des optischen Zusammenspiels des Deckglases, der Verkapselungsmaterialien sowie der Antireflex- und gegebenenfalls TCO-Schichten von Solarmodulen bieten wir eine breite Palette spektroskopischer und bildgebender Verfahren. Wir entwickeln zudem neue Materialien für das sogenannte »Licht- und Photonenmanagement«. Unser Ziel ist es, den Wirkungsgrad eines Solarmoduls zu steigern, indem wir das einfallende Licht geeignet manipulieren.

Prof. Dr. Stefan Schweizer

stefan.schweizer@csp.fraunhofer.de

Modultechnologie

Unser Fokus ist die Produkt- und Prozessentwicklung für neuartige Solarmodule und Materialien vom Labormaßstab bis zur industriellen Größe. Die Suche nach dem optimalen Prozess wird dabei durch analytische Methoden zur Untersuchung von elektrischen Verbindungen, Polymerkomponenten und optischen Eigenschaften der Module und Einzelkomponenten unterstützt. Mit optischen und elektrischen Simulationen werden weitere Verbesserungspotenziale identifiziert und quantifiziert.

Dr. Jens Schneider

jens.schneider@csp.fraunhofer.de

ABTEILUNG

ZUVERLÄSSIGKEIT UND TECHNOLOGIEN FÜR DIE NETZPARITÄT ZTN

Prof. Dr. Jörg Bagdahn | Telefon + 49 345 5589-5001 | jörg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

STEIGERUNG DER LEISTUNG UND ZUVERLÄSSIGKEIT VON PV-MODULEN

Die wichtigste Kenngröße für Solaranlagen und Solarmodule sind die Kosten der erzeugten elektrischen Energie. Dieser Ertrag ist von der Leistung des Moduls zu jedem Zeitpunkt seiner Lebensdauer bestimmt. Um die Kosten der solar erzeugten elektrischen Energie zu minimieren, gilt es, Solarmodule mit hoher Leistung und hohem Ertrag sowie einer möglichst langen Lebensdauer kostengünstig herzustellen. Dieses Ziel verfolgt das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP.

Leistung

Die eigentliche Wandlung von der solaren in die elektrische Energie erfolgt über den Photoeffekt in den Solarzellen. Diese werden elektrisch in Serie verschaltet und zum Schutz vor äußeren Einflüssen in eine Sandwichstruktur laminiert aus den Komponenten: Glas-Einkapselungsmaterial-Zellen-Einkapselungsmaterial-Rückseitenfolie. Das Laminat wird gerahmt und mit einer Anschlussdose versehen. Durch die Lamination treten optische Verluste auf. Zudem hat die Verschaltung von 60 Solarzellen elektrische Serienwiderstandsverluste zur Folge. Diese Verluste müssen reduziert werden, um die Leistung zu erhöhen.

Optische Verluste

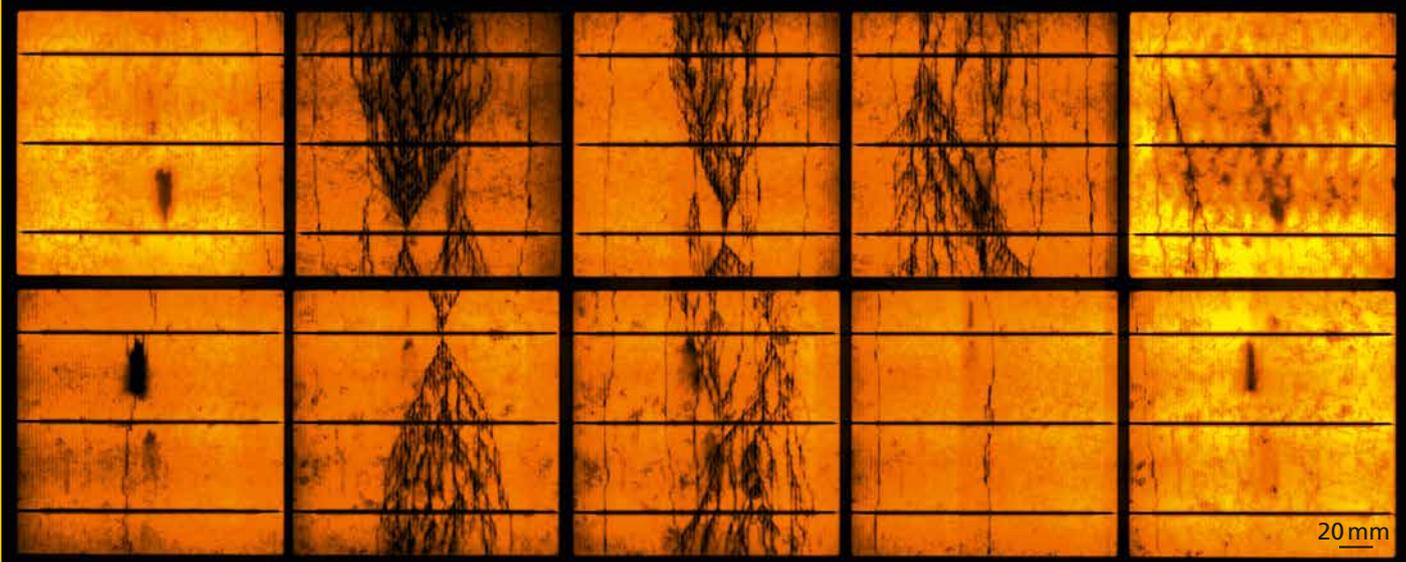
Bei der Untersuchung optischer Verlustmechanismen hat sich eine Kombination unterschiedlicher Modulgrößen als ideal erwiesen. An kleinen Modulen können viele detaillierte Untersuchungen vorgenommen werden, da diese günstiger herzustellen, leichter handhabbar und mit vielen Messgeräten kompatibel sind. Große Module werden verwendet, um die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf kommerzielle Modulgrößen zu überprüfen.

Die größten Hebel zur Reduktion optischer Verluste bieten Anti-reflexionsschichten auf der Vorderseite der Module, die die Reflexion an der Luft/Glas-Grenzschicht reduzieren, ähnlich wie dies zum Beispiel von entspiegelten Brillengläsern bekannt ist. Außerdem können die Absorptionsverluste im Einkapselungsmaterial verringert werden, indem insbesondere im UV-Bereich eine Anpassung an die spektrale Empfindlichkeit der Solarzellen erfolgt. Verschattungsverluste durch die Frontseitenmetallisierung und die aufgelöteten Metallbändchen zur Serienverschaltung werden durch gezielte Lichtstreuung gemindert. Die quantifizierten Ergebnisse zu den verschiedenen Maßnahmen werden im Beitrag »Reduktion optischer Verluste in Solarmodulen« beschrieben.

Optische Simulationen tragen zum analytischen Verständnis der optischen Eigenschaften und der Wechselwirkung verschiedener optischer Effekte bei. Dabei werden die Eigenschaften spektral bei unterschiedlichen Wellenlängen bestimmt. Messungen der Einzelkomponenten sind nötig, um die Verhältnisse beschreiben zu können. Die hier gewonnenen theoretischen Erkenntnisse werden mit den experimentellen Ergebnissen verglichen und im Beitrag »Simulation optischer Verluste in Solarmodulen« erläutert.

Zuverlässigkeit und Ertrag

Beschleunigte Alterungstests nach Norm geben Auskunft über die Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Solarmodulen und sagen somit aus, wie lange die Module Energie liefern. Die Entwicklung spezifischer Testmethoden und die Simulation verbessern das analytische Verständnis von Ausfallmechanismen und helfen diese zu vermeiden. Die Leistungsfähigkeit



Definiert belasteter Solarmodul-Prüfkörper zur Untersuchung von Rissen in verkapselten Solarzellen (Elektrolumineszenz-Aufnahme).

der Module unter Standardtestbedingungen (STC) wird im Sonnensimulator geprüft. Zur Leistungsbestimmung unter realen Bedingungen werden Freiluft-Messungen in starren Aufbauten und auf Trackern durchgeführt, die die Module der Sonnenposition anpassen. Aus der Bestimmung der Lebensdauer und den Leistungsbestimmungen unter verschiedenen Bedingungen lassen sich Aussagen über den elektrischen Energieertrag der Module treffen. Der Beitrag »Ertragsmessung von Solarmodulen« beschreibt die Ertragsmessungen am Fraunhofer CSP.

Materialcharakterisierung und Defektdiagnostik

Ist ein relevanter Ausfallmechanismus an Solarmodulen identifiziert, helfen diagnostische Methoden die genaue Ursache zu bestimmen und zu beheben. Die Möglichkeiten hierfür werden im Beitrag »Charakterisierung von ARC-Schichten« beispielhaft dargestellt.

Prof. Dr. Jörg Bagdahn, Dr. Jens Schneider



1 Auswahl an Sondermodulen hergestellt am Fraunhofer CSP, unter anderem verschiedene Kunststoff- und Naturfasermodule.



2 Vollautomatische Waferinspektion in der finalen Qualitätsüberwachung.

Gruppe

MODULTECHNOLOGIE

Dr. Jens Schneider | Telefon + 49 345 5589-5500 | jens.schneider@csp.fraunhofer.de

REDUKTION OPTISCHER VERLUSTE IN SOLARMODULEN

Am Fraunhofer CSP werden Minimodule mit nur einer Zelle, spezielle Testmodule und große Module mit 60 oder 72 Zellen hergestellt. Bei der Untersuchung optischer Verlustmechanismen hat sich eine Kombination verschiedener Größen als ideal erwiesen. An kleinen Modulen können Details untersucht werden, da diese günstiger herzustellen, leichter handhabbar und mit vielen Messgeräten kompatibel sind. Große Module werden verwendet, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Minimodulen auf kommerzielle Modulgrößen zu überprüfen.

Zur Reduktion der optischen Verluste und damit zur Verbesserung der Solarmodulleistung werden die Verbesserung einzelner Komponenten und deren Wechselwirkung mit anderen Effekten untersucht. Abbildung 1 zeigt links ein Standardmodul mit einem Laminatverbund aus »dickem« Glas und Rückseitenfolie. Rechts ist ein Modul mit dünnem Front- und Rückseitenglas abgebildet. Glas-Glas-Module bieten Kostenreduktionspotenziale bei gleichzeitiger Erhöhung der Zuverlässigkeit, waren aber lange aufgrund des höheren Gewichts unbeliebt. Mit der Weiterentwicklung hin zum dünnen, thermisch gehärteten, kostengünstigen Glas fällt dieser Nachteil weniger ins Gewicht, und die Vorteile überwiegen.

Antireflexionsbeschichtung

Die Antireflexionsbeschichtung reduziert die Reflexion an der Grenzfläche Luft/Glas, was in Abbildung 1 zu erkennen ist. Die weiße Rückseitenfolie im Standardmodul liefert über Mehrfachreflexion im Glas einen Beitrag zum Kurzschlussstrom. Um diesen Effekt beim Glas-Glas-Modulaufbau zu erhalten, wurde auf der Rückseite ein weißes PVB-Einkapselungsmaterial gewählt. Auf der dem Licht zugewandten

Seite des Moduls wurde ein besonders UV-transparentes PVB-Material als Einkapselungsmaterial gewählt. Darüber hinaus wurden Verbinderbändchen mit einer texturierten Oberfläche eingesetzt, die Licht seitlich streuen, sodass es im benachbarten Bereich der Zelle genutzt werden kann. Durch die Kombination verschiedener Maßnahmen konnte die Moduleffizienz in Zusammenarbeit mit Industriepartnern um über 5 Prozent relativ und etwa 1 Prozent absolut verbessert werden. Dabei waren die Firmen F Solar für die Verbesserung der Gläser, Kuraray für die PVB-Einkapselungsmaterialien und Schlenk für die Verbinderbändchen zuständig.

Dr. Jens Schneider



1 Aufnahmen der Ecken eines ungerahmten Standardmoduls mit einer Glasdicke von 3,2 mm (links) und eines mit Industriepartnern weiterentwickelten Glas-Glas-Moduls mit einer Glasdicke von je 2 mm (rechts).

Gruppe

OPTISCHE MATERIALIEN UND SPEKTROSKOPIE

Prof. Dr. Stefan Schweizer | Telefon + 49 345 5589-5400 | stefan.schweizer@csp.fraunhofer.de

OPTISCHE CHARAKTERISIERUNG VON GRENZFLÄCHEN UND SCHICHTEN

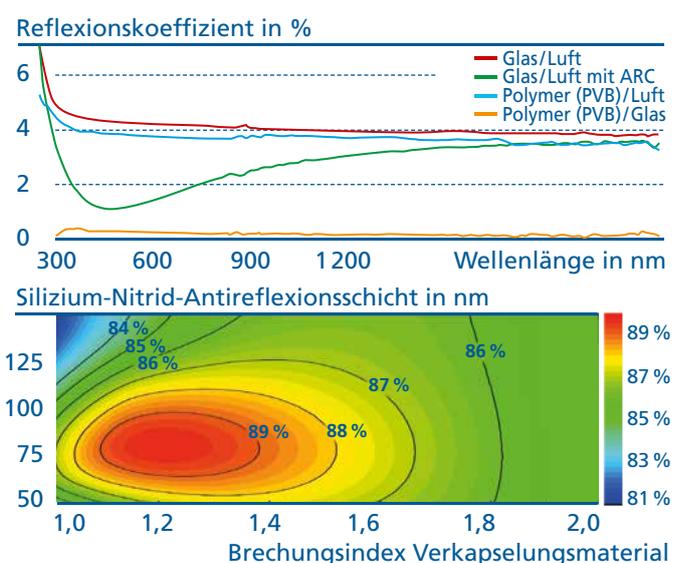
Die Gesamteffizienz eines Solarmoduls ist neben der Güte der verwendeten Solarzelle maßgeblich von den optischen Eigenschaften der im Solarmodul verwendeten Materialien und deren Zusammenwirken bestimmt. Optische Verluste stellen hierbei alle Mechanismen dar, die den Lichteinfall in die Solarzelle vermindern. Neben Absorption im Deckglas und Verkapselungsmaterial spielen auch Verluste durch Reflexion an den Grenzflächen Luft/Glas, Glas/Polymer und Polymer/Solarzelle eine wichtige Rolle. In Abbildung 1 (oben) ist der Reflexionskoeffizient für verschiedene Grenzflächen dargestellt. Die Reflexionskoeffizienten für die Grenzflächen Luft/Glas und Luft/Polymer sind sehr ähnlich, sodass die im Solarmodul existierende Grenzfläche Glas/Verkapselungsmaterial nahezu reflexionsfrei ist. Zudem kann die Reflexion an der Grenzfläche Luft/Glas durch das Aufbringen einer Antireflexionsschicht auf dem Glas reduziert werden.

Berechnung und Simulation von optischen Verlusten

Basierend auf der Bestimmung der Reflektanz des Gesamtmoduls und durch Kenntnis der Transmissions- und Reflexionskoeffizienten können im Solarmodul auftretende optische Verluste einzelnen Materialien und Materialkompositionen zugeordnet werden. Der zu erwartende Kurzschlussstrom des Moduls kann mit guter Genauigkeit prognostiziert werden. Es ist eine vollständige, optische Simulation eines Solarmoduls möglich. In Abbildung 1 (unten) ist die Quanteneffizienz eines Solarmoduls in Abhängigkeit von der Dicke der Antireflexionsschicht und dem Brechungsindex des verwendeten Verkapselungsmaterials dargestellt. Ein Optimum existiert für Silizium-Nitrid (SiN)-Schichtdicken zwischen 80 und 85 nm und einem Verkapselungsmaterial-Brechungsindex von 1,2.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass durch das Verkapselungsmaterial die Wirkung der SiN-Antireflexionsschicht reduziert wird, die Textur der Solarzelle jedoch einen Lichtfallen-Effekt generiert, der für die Moduleffizienz von großer Bedeutung ist. Dieser Lichtfallen-Effekt wird durch die Verwendung niedrigbrechender Verkapselungsmaterialien weiter verstärkt. Der Brechungsindex der derzeit in Solarmodulen verwendeten Verkapselungsmaterialien liegt bei etwa 1,45 und bietet Optimierungspotenzial.

Marcel Dyrba



1 Reflexion von Grenzflächen (oben) und theoretisch ermittelte Effizienz des Lichteinfalls durch die optischen Schichten eines Solarmoduls bis in die Si-Solarzelle, Spektralbereich 400 bis 1000 nm, AM1,5 Spektrum (unten).

Gruppe

MODULZUVERLÄSSIGKEIT

Dr. Matthias Ebert | Telefon + 49 345 5589-5200 | matthias.ebert@csp.fraunhofer.de

ERTRAGS- UND LEISTUNGSMESSUNG VON SOLARMODULEN

Welche Leistung hat ein Photovoltaikmodul bei einer speziellen Ausrichtung zur Sonne? Wie wirken sich Beschichtungen des Glases auf die elektrischen Parameter im Freien aus? Wie hoch ist der Ertrag eines PV-Moduls unter bestimmten klimatischen Bedingungen? Diese Fragen werden in der Gruppe Modulzuverlässigkeit in einem neu erschlossenen Gebiet mit großer Relevanz für die Photovoltaikbranche beantwortet. Dabei werden verschiedenartige Projekte angegangen: Messungen mit eigener Ertragsmesstechnik in der Region, Entwurf und Aufbau von Testfeldern in Kooperation mit einem Institut in Marokko und Messungen unter tropischen Bedingungen.

Ertragsmessungen in der Region und in Marokko

Für Photovoltaikmodule liegen meist nur die Angaben zu Messungen unter Standardtestbedingungen (STC) vor. Diese sind für die Ertragsprognose nicht ausreichend. Viele standortspezifische Größen wie der Tagesgang der Sonne, Niederschlag, Temperatur, Wind und Verschmutzung haben einen Einfluss auf den Energieertrag. In einem Ertragsmessfeld in der Region sind Messungen an bis zu 18 Messplätzen zur Bestimmung der standortspezifischen Leistung und der Wetterbedingungen nutzbar. Dabei ist eine stationäre Ausrichtung mit einem bestimmten Anstellwinkel oder eine variable Ausrichtung mit einem frei programmierbaren zweiachsigen Tracker möglich (Abbildung 1). Im Herbst 2013 wurde auf dem Dach des Neubaus Fraunhofer CSP ein weiteres Testfeld mit 18 Messplätzen eingerichtet, auf dem nun Freifeldmessungen, aber auch Materialbewitterungen für Photovoltaikkomponenten realisierbar sind.

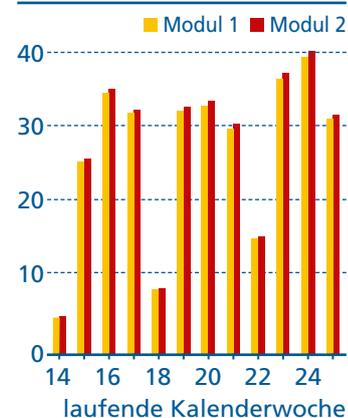
In einer Kooperation mit dem marokkanischen Institut IRESEN, das die Anwendung erneuerbarer Energien in Marokko

fördert, wird ein anderer Weg beschritten. Hier hat das Fraunhofer CSP mit seiner Fachkompetenz ein Testfeld mit verschiedenen Forschungsbereichen entworfen und unterstützt die Ausführung bis zur Inbetriebnahme. Nach dieser ersten Phase geht das Testfeld in die Nutzung. Die Gruppe Modulzuverlässigkeit wird dann das Leistungs- und Ertragsverhalten der Module in Marokko ermitteln und den Wissensaufbau für die Forschung im Land unterstützen. Ziel ist es, durch den Nachweis der Leistungsfähigkeit von Photovoltaiktechnologien den einheimischen Markt weiterzuentwickeln.

Stephanie Malik, Jens Fröbel



Spezifischer Energieertrag
in kWh/kWp



1 Zweiachsiger Tracker (Masthöhe 3,6 m) für die Messung des standortspezifischen Ertragsverhaltens von PV-Modulen in unterschiedlichen Ausrichtungen zur Sonne (links); spezifischer Energieertrag pro Modul, aggregiert pro Kalenderwoche (rechts).

Gruppe

DIAGNOSTIK SOLARZELLEN

Dr. Christian Hagendorf | Telefon + 49 345 5589-5100 | christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de

FÜR DURCHBLICK SORGEN – ANTIREFLEXSCHICHTEN AUF SOLARGLAS

Ein wesentliches Potenzial zur Leistungssteigerung von Solarmodulen liegt in der Optimierung der optischen Eigenschaften aller Materialien, insbesondere der Einbettungsfolie und des Deckglases. Die Transmission des Lichtes auf dem Weg zur Zelle wird dabei durch die Absorption in den Materialien und die Reflexion an den Grenzflächen limitiert. Ein Ansatz zur Reduktion der Reflexionsverluste liegt in der Anwendung von Antireflexschichten auf der Glasoberseite. Diese muss einerseits die Nennleistung des Moduls unmittelbar steigern. Andererseits muss sie auch vielfältigen Umwelteinflüssen über die gesamte Lebensdauer eines Moduls standhalten. Für den Test der Zuverlässigkeit über die Lebensdauer wird auf Freifelderfahrten und vor allem auf beschleunigte Alterungstests unter Laborbedingungen zurückgegriffen.

Vereinfachtes Labor-Testverfahren zur Alterung

Das Fraunhofer CSP hat ein Testverfahren entwickelt, welches auf speziellen Testträgern, sogenannten Mini-Modulen, beruht. Hierbei ist keine materialaufwendige Herstellung großer Standardmodule notwendig, vielmehr werden Module mit nur einer Solarzelle verwendet. Damit ist ein breites Screening verschiedener Antireflexschichten möglich, siehe Abbildung 1 (oben). Außerdem können hochgenaue Messgeräte, welche für die Zellcharakterisierung entwickelt wurden, verwendet werden. Ein dritter Vorteil besteht in einem deutlich reduzierten Handhabungsaufwand bei gleichzeitig erhöhter statistischer Aussagekraft.

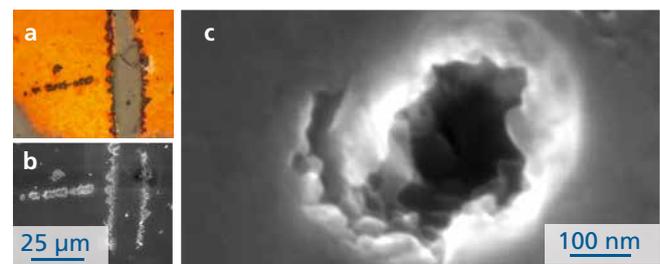
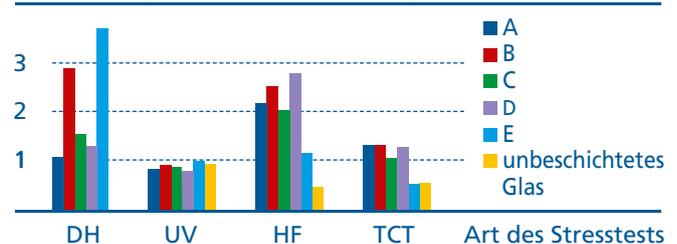
Versagensmechanismen auf der Spur

Antireflexschichten auf Glas können degradieren, was unter anderem sowohl von der Beschichtungstechnologie als auch

von den Umweltbedingungen abhängt. Mit hochauflösenden mikrostrukturellen und analytischen Verfahren zur chemischen Zusammensetzung werden lokale optische, strukturelle und chemische Eigenschaften in Zusammenhang gebracht, siehe Abbildung 1 (unten). So lassen sich Degradationen (zum Beispiel Ablagerungen und Reaktionsprodukte) bewerten, Versagensmechanismen beschreiben und gezielte Verbesserungen der Beschichtung ableiten.

Dr. Marko Turek, Dr. Stephan Großer

Beschichtungen und deren Leistungsverluste in %



1 Ergebnis eines Stresstest-Screenings von fünf verschiedenen Antireflexschichten (A-E) im Vergleich zu unbeschichtetem Glas (oben). Degradation einer ARC-Schicht (Projekt mit der Hanwha Q CELLS GmbH); Korrelation von Licht- (a) und Elektronenmikroskopie (b) sowie Feinstruktur (c) (unten).

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IWM

Verbünde, Allianzen, Projektgruppen

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Fraunhofer-Materialforschung umfasst die gesamte Kette von der Entwicklung und Verbesserung von Materialien über die Herstelltechnologie und Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen. Neben den experimentellen Untersuchungen werden die Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung gleichrangig eingesetzt.

Vorsitzender: Prof. Dr. Peter Elsner

Kontakt: Dr. Ursula Eul

ursula.eul@lbf.fraunhofer.de

www.vwb.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz AdvanCer

Das Spektrum reicht von der Modellierung und Simulation über die anwendungsorientierte Entwicklung von Werkstoffen, Fertigungsprozessen und Bearbeitungstechnologien bis hin zur Bauteilcharakterisierung, Bewertung und zerstörungsfreier Prüfung unter Einsatzbedingungen.

Dr. Andreas Kailer | www.advancer.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

Die Fraunhofer-Allianz will Treibstoff- und CO₂-Verbrauch reduzieren, Elektromobilität stärken sowie den Materialeinsatz senken. Dabei realisiert sie Innovationen entlang der gesamten Herstellungsprozesskette, von der Planung bis zum lackierten Fahrzeug.

Dr. Chris Eberl | www.automobil.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Batterien

Die Fraunhofer-Allianz Batterien entwickelt rund um das Thema elektrochemische Energiespeicher (Batterien, Superkondensatoren) technische und konzeptionelle Lösungen. Die Kompetenzen der Allianz umfassen dabei die Felder Material, System, Simulation und Testung.

Dr. Leonhard Mayrhofer | www.batterien.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Bau

Ziel der Fraunhofer-Allianz Bau ist es, alle wissenschaftlichen und forschungsrelevanten Fragen zum Thema Bau vollständig und »aus einer Hand« innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft abbilden und bearbeiten zu können. Der Baubranche steht so ein zentraler Ansprechpartner für integrale Systemlösung zur Verfügung.

Jörg Lucas, Sven Wüstenhagen | www.bau.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Energie

Zehn Fraunhofer-Institute bieten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus einer Hand an: Die Schwerpunkte liegen bei Effizienztechnologien, erneuerbaren Energien, Gebäuden und Komponenten, Planung und Betriebsführung integrierter Energiesysteme sowie Speicher- und Mikroenergie-technik.

Dr. Jörg Bagdahn | www.energie.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Generative Fertigungstechniken sind konventionellen Techniken bei der Herstellung von maßgeschneiderten, komplexen Bauteilen und Kleinserien in Flexibilität, Arbeits- und Materialaufwand überlegen. Die Allianz widmet sich der Entwicklung, Anwendung und Umsetzung generativer Fertigungsverfahren und Prozesse.

Dr. Raimund Jaeger | www.generativ.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Leichtbau

Die Qualität einer Leichtbaustruktur ist wesentlich bestimmt durch ihre Werkstoffeigenschaften, die konstruktive Formgebung, ihre Bauweise und den Herstellungsprozess. Daher muss die gesamte Entwicklungskette von der Werkstoff- und Produktentwicklung über Serienfertigung und Zulassung bis hin zum Produkteinsatz betrachtet werden.

Dr. Peter Michel, Dr. Michael Luke

www.fraunhofer.de/de/institute-einrichtungen/verbuende-allianzen/Leichtbau.html



Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

Von der anwendungsorientierten Forschung bis zur industriellen Umsetzung werden beispielsweise multifunktionale Schichten für optische Anwendungen, den Automobilbau und die Elektroindustrie entwickelt. Metallische und oxidische Nanopartikel, Kohlenstoff-Nanoröhren und Nanokomposite werden in Aktuatoren, strukturellen Werkstoffen und biomedizinischen Anwendungen eingesetzt. Darüber hinaus beschäftigen wir uns mit Fragen der Toxizität und dem sicheren Umgang mit Nanopartikeln.

Prof. Dr. Andreas Heilmann, Prof. Dr. Michael Moseler
www.nano.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen

Die Fraunhofer-Allianz bearbeitet institutsübergreifende Aufgaben zur Entwicklung und Verbesserung von Simulationsverfahren. Sie bündelt zudem Kompetenzen aus dem IuK-Bereich, das Werkstoff- und Bauteil-Know-how sowie Wissen aus der Oberflächen- und Produktionstechnik.

Dr. Dirk Helm | www.nusim.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Optic Surfaces

Die Allianz erarbeitet wissenschaftlich-technische Grundlagen für die Funktionalisierung von optischen Oberflächen aus Glas, Kunststoffen und Metallen durch Submikrostrukturen. Dazu werden insbesondere Beschichtungs- und Replikationsverfahren genutzt. Anwendungen sind beispielsweise Entspiegelung, Lichtlenkung, Beugungsgitter und Wellenleiter. Die Partnerinstitute unterstützen Entwickler bei der Auswahl von Materialien und technologischen Verfahren bis hin zur Herstellung von Musterbauteilen.

Dr. Peter Manns, Dr. Frank Burmeister
www.funktionale-oberflaechen.de

Fraunhofer Projektgruppe Neue Antriebssysteme NAS

Zwei Institute arbeiten an neuen Motorenkonzepten mit den Zielen, eine dezentrale stationäre Energieversorgung zu realisieren sowie nachhaltig betreibbare Verbrennungsmotoren in Kombination mit einem Elektromotor oder als alleinige Antriebsquelle zu entwickeln. Auch alternative Kraftstoffe und Energieträger werden mit einbezogen. Das Fraunhofer IWM arbeitet dabei an verbesserten tribologischen Konzepten.

Prof. Dr. Matthias Scherge
www.ict.fraunhofer.de/del/komp/nas.html

Zukunftsprojekt Supergrid

Ziel ist es, auch dezentral produzierten Strom effizient erzeugen, speichern und verteilen zu können. Wichtige Bausteine zukünftiger Stromerzeugung sind beispielsweise solarthermische Kraftwerke in Südeuropa und Nordafrika. Das Fraunhofer IWM entwickelt experimentelle und numerische Verfahren zur Qualifizierung von Werkstoffen für den Einsatz in heißen Salzschnmelzen, die in den Speichern und Wärmetauschern von solarthermischen Kraftwerken vorkommen.

Dr. Wulf Pfeiffer
www.fraunhofer.de/del/fraunhofer-forschungsthemen/energie-wohnen/energieeffizienz/supergrid.html

Leitprojekt Kritikalität Seltener Erden

Sieben Fraunhofer-Institute entwickeln effizientere Herstellungsprozesse für Hochleistungsmagnete, optimieren deren Bauteilauslegung und erforschen Recyclingmöglichkeiten. Ziel ist es, den Primärbedarf an schweren Seltenerd-Elementen bei zwei Demonstrator-Permanentmagneten zu halbieren. Das Fraunhofer IWM sucht Substitutionsmagnetmaterialien möglichst ohne Seltenerd-Elemente mit elektronentheoretischer Materialsimulation und elektronenmikroskopischer Materialcharakterisierung.

Prof. Dr. Christian Elsässer, Prof. Dr. Thomas Höche

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IWM

Fraunhofer-Gemeinschaftsforschung

Wirtschaftsorientierte Strategische Allianzen (WiSA) setzen neue Technologien in die industrielle Praxis um. Die marktorientierte strategische Vorlaufforschung (MaVo) ermöglicht anspruchsvolle Forschung an Zukunftsthemen.

Abrasive Bearbeitung von Oberflächen und Trennen durch maßgeschneiderte Suspensionen (AbraSus), WiSA

Bei der Nachbearbeitung schwer zugänglicher Oberflächen und dem Trennen von Hochleistungsbauteilen sollen hohe Präzision, gute Abtragsleistung sowie funktionale Oberflächenqualität bei gleichzeitig energieeffizienter Prozessführung erreicht werden. Die Optimierung des Strömungsschleifens sowie des Wasserabstrahlens ist komplex aufgrund der hochdynamischen Wechselwirkung des Trägerfluids und der Abrasivkörner mit dem Werkstück.

Prof. Dr. Michael Moseler

Entwicklung technologischer Grundlagen für die Titanumformung (UfoTi), MaVo

Im Rahmen von »UfoTi« sollen Grundlagen für die prozesstechnische Beherrschung der Umformung von Blechwerkstoffen aus Titan gelegt werden. Zu diesem Zweck werden neuartige Werkzeugbeschichtungen und verbesserte Werkzeugwerkstoffe entwickelt und mit innovativen Umformverfahren kombiniert. Parallel dazu erfolgt die Entwicklung von Simulationsmodellen, um so die Prozessführung zu optimieren.

Dr. Alexander Butz

Fertigungsintegrierte Reduzierung von Reibung und Verschleiß in Verbrennungsmotoren (TriboMan), MaVo

Im Rahmen von TriboMan werden Werkstoffe, Fertigungsverfahren und Prozesse entwickelt, die Reibung und Verschleiß dauerhaft durch die fertigungsintegrierte Vorwegnahme des Einlaufprozesses und die gezielte Bildung nanoskaliger Randschichten während der Präzisionsbearbeitung von Motorenkomponenten reduzieren. Darüber hinaus werden Strukturierungs- und Beschichtungsverfahren zur Einstellung der Mikrostruktur von Oberflächen der Tribopartner entwickelt.

Prof. Dr. Matthias Scherge

Herstellung bio-inspirierter Versorgungssysteme für Transplantate mittels Rapid Prototyping über Inkjet-Druck und Multiphotonenpolymerisation (BioRap), MaVo

»BioRap« entwickelt ein Verfahren zur Herstellung bio-inspirierter Versorgungsstrukturen für Transplantate mit Rapid-Prototyping-Verfahren. Das Projekt umfasst die Entwicklung neuer biokompatibler Ausgangsmaterialien für die generativen Fertigungstechniken sowie die Technologieentwicklung zur Fertigung eines Blutgefäßsystems und dessen Biofunktionalisierung zur optimalen zellulären Besiedlung.

Dr. Raimund Jaeger

Hochtemperatur-Mikrosysteme – Zuverlässige Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikroelektronik und Mikrosysteme bis 300 °C Betriebstemperatur (HOT-300), MaVo

Da elektronische Systeme und Komponenten immer härteren Anforderungen genügen müssen, liegt das Ziel in einer deutlichen Erhöhung der zulässigen Betriebstemperaturen bis 300 °C. Dafür werden Entwicklungen in Kombination von Halbleitertechnologie, Aufbau- und Verbindungstechnik, keramischer Materialentwicklung, Werkstoffanalytik und Bereitstellung einer verlässlichen Zuverlässigkeitsmodellierung vorangetrieben.

Prof. Dr. Matthias Petzold

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IWM

Innovationscluster und Spitzencluster

Innovationscluster Kunststoffe und Kunststofftechnologie für die Solarindustrie, Halle

Die Fraunhofer-Institute IWM, IAP, CSP und PAZ arbeiten im Fraunhofer-Innovationscluster Kunststoffe und Kunststofftechnologien für die Solarindustrie, kurz »SolarKunststoffe«, gemeinsam mit Unternehmen aus der Solar- und Kunststoffindustrie in Mitteldeutschland an der Entwicklung und Umsetzung innovativer Produkte, um sich einen entscheidenden Technologievorsprung im internationalen Wettbewerb zu verschaffen. Neue Kunststofflösungen sind zunehmend ein Schlüsselement für wettbewerbsfähige Photovoltaiklösungen und eröffnen gleichzeitig der in Mitteldeutschland etablierten chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie neue Märkte. Die Verbindung von Polymersynthese, -verarbeitung und -charakterisierung mit der Solarmoduletechnologie ist ein aussichtsreicher Ansatz für die Entwicklung neuer, anwendungsspezifischer Lösungen und ein Alleinstellungsmerkmal des Clusters.

Dr. Michael Busch

www.solarkunststoffe.de

Innovationscluster Regional Eco Mobility 2030, Karlsruhe

Die Fraunhofer-Institute ISI, IOSB, ICT und IWM erarbeiten und bewerten ganzheitliche Konzepte für eine effiziente regionale Individualmobilität gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT und zahlreichen Partnern aus der Wirtschaft Baden-Württembergs. Schwerpunkte sind unter anderem der lokal emissionsfreie Betrieb von PKW in Ballungsräumen, effiziente Antriebstechnik, Leichtbauweise, energieeffiziente Nutzung sowie energiewirtschaftliche Einbindung der Elektromobilität. Neben den technologischen Themen werden neue Mobilitätskonzepte und Geschäftsmodelle unter Berücksichtigung demografischer und soziologischer Aspekte entwickelt.

Dr. Michael Luke

www.rem2030.de

Innovationscluster Technologien für den hybriden Leichtbau KITE hyLITE, Karlsruhe

Die Fraunhofer-Institute ICT, IWM und LBF, das Center of Automotive Research and Technology CART des Karlsruher Instituts für Technologie KIT und Unternehmen der Automobil- und Zulieferindustrie entwickeln einen ganzheitlichen Ansatz für den hybriden Leichtbau mit Verbundwerkstoffen. Schwerpunkte sind die Entwicklung von Werkstoffen, Produktionstechnologien und Methoden zur Realisierung funktionsintegrierter Leichtbaulösungen und deren Umsetzung in einer ökonomisch realisierbaren Serienfertigung im Bereich der Fahrzeugindustrie.

Dr. Michael Luke

www.fahrzeugleichtbau.de

Spitzencluster BioEconomy

Das Cluster verbindet die für die BioÖkonomie relevanten Forschungs- und Industriebereiche in Mitteldeutschland mit dem Ziel, die Entwicklung, Skalierung und Anwendung von innovativen technischen Prozessen voranzutreiben: besonders für die nachhaltige stoffliche Nutzung biobasierter, nachwachsender Rohstoffe aus dem Non-Food Bereich (insbesondere von Holz) sowie für die Herstellung werthaltiger Produkte für verschiedene Industriebereiche, verbunden mit der energetischen Nutzung von Reststoffen über die gesamte Wertschöpfungskette.

Andreas Krombholz

www.bioeconomy.de

Spitzencluster SolarValley Mitteldeutschland

Im Zentrum steht das Ziel, Solarstrom wettbewerbsfähig zu machen. Dies gelingt in der Umsetzung eines Strategiekonzepts, in dem Wirtschaft, Wissenschaft und Bildung eng verzahnt zusammenarbeiten, um Strom für Generationen erneuerbar und dezentral bereitzustellen. Dabei soll die Photovoltaik als bedeutendste Energietechnologie dieses Jahrhunderts etabliert werden.

Prof. Dr. Jörg Bagdahn

www.solarvalley.org

Mechanische Prüfung und Bewertung

Werkstoffprüfung und Extensometrie

- Servohydraulische, elektrodynamische und elektromechanische Prüfmaschinen für Prüfkraft von 10 mN bis 8 MN mit Prüfkammern von 80 bis 2 500 K zur statischen, dynamischen und zyklischen Prüfung
- Servohydraulische Torsionsprüfanlage bis ± 4 kNm und ± 50 Grad
- Versuchsstände zur thermomechanischen Ermüdung bis 1 800 °C
- Klimatisierte Shakerprüfanlage für Vibrations- und Shocktests
- Dynamische mechanische Analyse (DMA, 18 mN bis 500 N)
- Versuchsstände zur Untersuchung des Kriechverhaltens von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen
- ARAMIS-Systeme zur optischen dreidimensionalen Dehnungsmessung
- Speckle-Interferometer zur berührungslosen Vibrationsanalyse
- Zweistrahl-Laserextensometer zur berührungslosen Verformungsmessung
- Prüfraumen für Zugprüfungen in Hochdruck-Wasserstoff bei bis zu 1 000 bar
- Autoklav zur Wasserstoff-Beladung bei bis zu 350 °C und 500 bar

Werkstoffcharakterisierung für crashartige Belastungen

- Hochgeschwindigkeitsprüfeinrichtungen für stoß- und crashartige Belastungen bis 100 m/s (Druckgasbeschleunigungsanlage)
- Schnellzerreißmaschinen bis 500 kN und Abzugsgeschwindigkeiten bis 20 m/s
- Pendelschlagwerke von 1 bis 750 J
- Fallgewichtsanlagen bis 7 000 J
- Hochgeschwindigkeits-Videokameras mit bis zu 1 Million Bilder/s in Verbindung mit optischer ARAMIS-Dehnungsfeldanalyse
- Hochgeschwindigkeits-IR-Kamera zur Analyse adiabatischer Temperaturerhöhungen bei Crashbelastungen

Bauteilprüfung

- Motorprüfstand
- Rohrprüfstände für Langzeit- und Innendruckversuche bis 750 °C, mit Wechsellasteinrichtungen zur Überlagerung von axialem Zug und Druck
- Innendruckprüfeinrichtungen bis 650 bar und Triaxialpressen bis 7 000 bar, beide bis 1 000 K
- Multiaxiale Prüfmaschinen (Spannfelder) zur komplexen Bauteilprüfung
- Bauteil-Crashtests mit 3D-ARAMIS-Dehnungsfeldanalyse mit Hochgeschwindigkeits-Videokameras

- Mechanischer Solarmodulprüfstand
- Scannendes Laser-Doppler-Vibrometer

Bewertung des Einsatzverhaltens bei Temperatur- und Medienbelastung

- Vakuum-, Klima- und Temperaturprüfkammern
- Korrosionsprüfstände für wässrige und gasförmige Medien
- Induktive Erwärmungsanlagen
- Jominy-Versuchsstand
- Gleeble (Thermomechanische Umformanlage)

Prüfung von Mikrokomponenten

- In situ-Verformungseinrichtungen für Raster- und Transmissions-Elektronenmikroskope
- Pull- und Schertester für die mikroelektronische Verbindungstechnik
- Mikrooptischer Kraftmessplatz mit Manipulationseinrichtungen
- Mikrosystem-Analysator (MSA) zur berührungslosen Verformungs- und Vibrationsanalyse
- Versuchsstände zur Festigkeits- und Lebensdauerermessung von Mikrosystemen

Prüfung von Mikroproben

- Piezogetriebene Prüfmaschinen für Zug-, Druck- und Dreipunktbiegeversuche sowie für Ermüdungsversuche von Mikroproben bis zu 100 Hz (typische Probendicken im Bereich von 20 bis 500 μm)
- Resonanzapparaturen zur Ermüdung von Mikroproben unter Biege-, Torsions- und multiaxialer Belastung im Frequenzbereich von einigen 100 Hz bis in den kHz-Bereich
- Dunkelfeld- und Hellfeld-Mikroskope sowie vergrößernde Objektive mit Kameras zur berührungslosen Dehnungsmessung von Mikroproben unter Verwendung von Digitaler Bildkorrelation
- 2-Photonen-Lithographiesystem (Nanoscribe) zur Erzeugung dreidimensionaler Polymerstrukturen mit Detailgenauigkeiten $< 1 \mu\text{m}$; durch metallische Beschichtungen können somit auch mechanisch stärker beanspruchbare Metamaterialien erzeugt werden

Material- und Oberflächencharakterisierung

Ionen-/Elektronenmikroskopie

- Transmissionselektronenmikroskop (TEM 200 kV) mit Röntgenanalysesystem (Nanospot-EDX)
- TEM/STEM Transmissionselektronenmikroskop (200 kV)
- EF-TEM Transmissionselektronenmikroskop (60-300 kV) mit Cs-Bildkorrektur, EDS, EELS, HAADF, STEM, NBD und in situ-Test
- Einstrahl-Fokussierende Ionenstrahlanlage (FIB) mit integriertem IR-Mikroskop

TECHNISCHE AUSSTATTUNG

- Zweistrahl-FIB-Anlage mit in situ-Manipulator
- Zweistrahl-FIB-Anlage mit EBSD- und EDX-Analytik
- Plasma-FIB-Anlage
- Rasterelektronenmikroskope (REM) mit Röntgenanalyse (EDX, WDX) und Beugungsanalyse (EBSD)
- REM mit elektronenstrahlinduzierter Strommessung (EBIC) und Nadel-Manipulatorsystem
- Atmosphärisches REM (ESEM) mit EDX-Analyse
- Kombinierte ESEM-FIB-Anlage mit Kryo-Transferkammer und in situ-Kryo-Präparationseinrichtungen
- Präparationstechniken: Präzisionsdrahtsägen, diverse Schleif-/Poliermaschinen und Ar-Ionenätzenanlagen, Präzisionsschleifanlagen für Zielpräparation, Plasma-Cleaner, C-Bedampfung und Platin Sputter-Coating, Rotationsmikrotom, Ultramikrotom, Kryo-Ultramikrotom, Kritisch-Punkt-Trocknung, Kryo-fixierung

Physikalisch/chemische Oberflächenanalytik

- Time-of-Flight-Sekundärionen-Massenspektroskopie (ToF-SIMS)
- Photoelektronenspektroskopie mit Abtragsmodus, Tiefenprofil (XPS, UPS) sowie Auger-Elektronenspektroskopie (AES)
- Tiefenprofil-Glimmladungsspektrometer (GDOES)
- Kontaktwinkelmessung
- Plasmaanalytiksystem (OES, VI-Probe, SEERS)
- Dynamische Widerstandsmessung für hochohmige dünne Schichten (piezoresistive Effekte messbar)
- Automatischer Messplatz für elektrische Messungen im Picoamperebereich

Topografie- und Konturmessung

- Rasterkraftmikroskope (AFM), u.a. mit Lateralkraftmessung und Flüssigkeitsmesszelle
- Weißlichtinterferometer
- Konfokal-Laserscanningmikroskope (CLSM)
- Profilometer und Rauheitsmesseinrichtungen
- Interferometrische Eigenspannungsmessung
- Waferdickenbestimmung
- Interferometer mit Phasenschieber für Konturmessung von Asphären

Lichtoptische und spektrometrische Verfahren IR-UV

- Lichtmikroskope, Dunkelfeld- und DIK-Modus
- Quantitative Bildanalyseysteme
- UV/VIS/NIR-Spektrometer und Spektralellipsometer
- Elektrolumineszenz- und Photolumineszenz-Spektroskopie
- Infrarot-Mikroskopie
- FTIR-Spektroskopie und -Mikroskopie mit ATR-Messzellen
- Konfokales Ramanmikroskop und Raman-Spektrometer
- IR-Spannungsoptik-Messungen

- Verfahren zur Messung der Ladungsträgerlebensdauer (Mikrowellen-Photoconductance-Decay, quasistatische Photoleitfähigkeit)
- Farbanalysator

Röntgenografische Verfahren, Mikrostruktur- und Spannungsanalyse

- 3D-Röntgen-CT-Inspektionsanlagen mit in situ-Verformungseinrichtung
- Röntgendiffraktometer für Spannungsmessung, Textur- und Phasenanalyse mit Hochtemperatureinrichtung bis 2300 K und Dünnschichtanalyseeinrichtung
- Mobile Diffraktometer für Eigenspannungsanalysen
- Mikrodiffraktometer (laterale Auflösung von 100 μm)
- Bohrlochverfahren für tiefenauflösende Eigenspannungsanalysen
- Luftgekoppelter Ultraschall (Scanfläche 1500 x 1000 mm^2)
- Akustische Rastermikroskopie (MHz bis GHz)
- Aktive Thermographieverfahren (Puls-Phasen-Thermographie PPT, Lock-in-Thermographie, Thermoelastische Spannungsanalyse TSA)

Thermophysikalische Messverfahren

- Dynamische Differenzkalorimetrie bis 1600 $^{\circ}\text{C}$
- Thermogravimetrische Analyse
- Differential-Thermoanalyse
- Dilatometer für Messungen bis 1650 $^{\circ}\text{C}$
- Temperatur- und Wärmeleitfähigkeitsmessung (Light-Flash-Methode) bis 2000 $^{\circ}\text{C}$
- Luftgekoppelter Ultraschall (75 kHz, 125 kHz)
- Lock-in-Thermographie mit elektrischer und optischer Anregung

Charakterisierung von Schichten und Oberflächen, Tribologie

- Verschleißmessanlagen für kleinste Verschleißraten (1-5 nm/h) mit Radionuklidtechnik und Plasmaspektroskopie (ICP-OES)
- Stift-Scheibe-Prüfstände
- Wälz- und Gleitverschleißprüfstände
- Kugellagerprüfstände
- Diverse Mikrotribometer (Temperatur, Umgebung, Vakuum)
- Tribokorrosionsprüfstände
- Frettingprüfstand bis 1500 Hz
- Nanoindenter mit Temperierung
- Scratch-Tester mit Scanning-Option
- Mikro- und Makrohärteprüfer (vollautomatisch und manuell), mobile Härtemessung
- Registrierender Eindruckversuch bis 600 $^{\circ}\text{C}$
- Rücksprunghärtemessgerät
- Schichtdickenmessung (Wirbelstrom/Magnetinduktion)

Material- und Spurenanalyse

- Massenspektroskopie mit induktions-gekoppeltem Plasma (ICP-MS) mit Laserablation, chemische Extraktion und elektrothermische Vaporisation
- Wasserstoffanalysator inkl. Auslagerungssofen
- Stickstoff- und Sauerstoffanalysator
- Dichte- und Porositätsmesseinrichtungen
- Wasserstoffpermeationsprüfstand mit Zug- und Temperatureinrichtung
- Karl-Fischer-Titrator (Feuchtemessung)
- Restgasanalysator
- Gaspermeationsmessgerät
- Thermische Desorptionsspektrometer zur Wasserstoffanalyse

Polymercharakterisierung

- Dynamische Differentialkalorimetrie
- Dynamisch-mechanische Analyse
- Thermomechanische Analyse
- Rotationsrheometer
- Hochdruckkapillarviskosimeter
- Schmelzfestigkeits- und Schmelzindexmessgeräte
- HDT-Wärmeformbeständigkeits- und Vicat-Erweichungstemperaturmessung
- Dielektrische Analyse
- Schubstangendilatometer

Beschichtung, Oberflächenfunktionalisierung

- Plasma-CVD-Beschichtungsanlagen (CCP/ICP)
- DC-Puls-Beschichtungsanlagen
- Hochfrequenz-Magnetron-Bias-Beschichtungsanlagen
- Ionenstrahlunterstützte Elektronenstrahlverdampfungsanlagen
- Coronabehandlungsanlagen für Polymerfolien
- Mehrkammerbeschichtungsanlage für Multilagenbeschichtungen und Hybridschichten
- Anlage zur Plasmapolymersation
- Plasmaätzenanlagen
- Nasschemische Beschichtungsanlagen (Spin-Coating, Rakelbeschichtung, Tauchbeschichtung)
- Elektrostatische Spinneinrichtung
- Ionenätzanlage zur Probenpräparation und Oberflächenbearbeitung
- Waferbondanlage mit Plasmaaktivierung
- Drahtbondtechnik zur Kontaktierung von mikroelektronischen Bauelementen
- Blankpressanlage für präzisionsoptische Bauteile aus anorganischem Glas
- Pressanlagen für schnelles Heißprägen von Glas
- Laserschneidanlage zum thermischen Trennen von Glas
- Anlage zum Laserschweißen von Polymerfolien

- Ultra Präzisionsdreh-, -schleifmaschinen und -fräsmaschinen zur Diamantbearbeitung
- Kugelstrahlanlagen zur Verfestigung und Strukturierung von Oberflächen

Berechnungswerkzeuge

Software

- ABAQUS, ANSYS, MSC PATRAN/NASTRAN, MSC MARC, PAM-CRASH, LS-Dyna, FEAP, SYSWELD, DEFORM, simufact
- »Gvect« zur Erzeugung von FE-Modellen aus Messungen von Kornorientierungen mit der »Electron Back Scatter Diffraction«-Methode (ANSYS und ABAQUS)
- »Fitit®« zur Parameteridentifikation
- »ThoMat« zur Lebensdauervorhersage von Hochtemperaturbauteilen mit Finite-Elemente Programmen
- »CARES/Life« zur probabilistischen Festigkeitsbewertung spröder Werkstoffe in Verbindung mit numerischen Simulationen
- »Verb« zur Beurteilung von Komponenten mit rissartigen Defekten
- Modelle zur statistischen Festigkeits- und Lebensdauerbeschreibung für Siliziumkomponenten
- »OpenFOAM« für Strömungsprozesse in der Tribologie
- ATHENE, OREAS, Algorithmen zur Simulation von Mikrorisfeldern: zur Anwendung der Randelementmethode (REM)
- FE-Postprocessing-Tools zur Schädigungssimulation und Festigkeitsvorhersage in Faserverbundlaminaten mit Bohrungen und Kerben (ANSYS, PATRAN/NASTRAN)
- Programme für quantenmechanische Berechnungen und atomistische Simulationen von Werkstoffeigenschaften
- Ab initio-Dichtefunktionaltheorie, semi-empirische Tight-binding-Elektronenstrukturmethoden, Molekularstatik- und Molekuldynamik-Methoden mit Bond-Order-Potenzialen und mit klassischen Mehrkörper-Kraftfeldern
- »optiSLang« für multidisziplinäre Optimierung, Sensitivitätsstudien, Robustheitsbewertungen, Zuverlässigkeitsanalysen sowie Robust-Design-Optimierung
- »SimPARTIX®« zur partikelbasierten Simulation auf Basis der Diskrete-Elemente Methode und der Smoothed-Particle-Hydrodynamics-Methode
- Thermokinetik-Software zur Berechnung physikalischer und chemischer Vorgänge

Hardware

- Linux-Serverfarm und Linux-Cluster mit 64-Bit-Prozessoren von Intel und AMD mit insgesamt mehr als 2 000 Cores

Ausstattung Photovoltaik im Fraunhofer CSP

Modulcharakterisierung

- Doppelring- und Vierpunktbiegetest zur Bestimmung der Glasfestigkeit
- Vierpunktbiegeversuch für Minimodule mit Elektrolumineszenz
- Mechanische Belastungsprüfplätze für Solarmodule
- Klimaprüfkammern teilweise mit Lichtalterungseinrichtung
- UV- Vorbehandlung von Modulen
- Hochspannungstest-Equipment für PID
- Equipment für Elektrolumineszenz- und Thermographieaufnahmen
- Indoor- Modulflasher für Modulleistungsmessung
- Freifeldmessplätze zur Modulleistungsmessung und Ertragsermittlung

Elektrische Charakterisierung

- Messplätze zur Ladungsträgerlebensdauerermessung (Si-Block, Wafer)
- 4-Punkt-Methode und Wirbelstrommethode zur Leitfähigkeitsmessungen
- Photolumineszenz-Messplatz zur orts aufgelösten Charakterisierung von Si-Blöcken, Wafer und Zelle
- Elektrolumineszenz-Messplatz zur Zellen-Charakterisierung
- Messplatz zur Bestimmung der internen und externen Quanteneffizienz von Zellen
- Sonnensimulator für Solarzellen

Waferfertigung

- Draht- und Bandsägen zum Squaren, Croppen
- Schleifmaschinen zur Oberflächen- und Fasenbearbeitung von Blöcken
- IR-Durchleuchtungssystem zur Identifizierung von SiC/SiN-Einschlüssen in Blöcken
- Drahtsägen für multi- und monokristalline Wafer
- Vorreinigungsanlage zum Ablösen der Wafer nach dem Sägen
- Inline-Feinreinigungsanlage zur Endreinigung der Wafer
- Inline-Messanlage mit Sortiereinheit zur Waferendkontrolle und Klassifizierung

Modulfertigung

- Glaswaschmaschine
- Variable Zellstring-Layup-Station
- Halbautomatische Zellverlötungsanlage
- Labor- und Großmodullaminator
- RTP-Ofen
- Siebdrucker
- Präzisionsprüfmaschinen für Verbindungs- und Lotmaterial

Polymerverarbeitung im Fraunhofer IWM und im Fraunhofer PAZ

- Minicompounder mit konischen Doppelschnecken
- Minispritzgießanlage
- Injection Molding Compounder KM 1 300-14 000 IMC, Schließkraft 1 300 Tonnen, max. Schussgewicht 5 300 Gramm (PS)
- Injection Molding Compounder KM 3 200-24 500 MX IMC, Schließkraft 3 200 Tonnen, max. Schussgewicht 20 000 Gramm (PS)
- Spritzgießmaschine KM 200-1000 C2, Schließkraft 200 Tonnen, max. Schussgewicht 476 Gramm (PS), Werkzeug-Temperatur bis 140 °C, separate 2. Spritzeinheit SP 160, vertikal, max. Schussgewicht 68 Gramm (PS)
- Parallele, gleichlaufende, frei konfigurierbare Doppelschneckenextruder vom Labor- bis in den Pilotmaßstab (5-400 kg/h), austragsseitig mit Strang-, Unterwassergranulierung sowie Heißabschlag ausgerüstet
- Konisch gegendrehender Doppelschneckenextruder
- Einschneckenextruder
- Downstream-Equipment für Proflextrusion, Rohrextrusion, Folienextrusion
- Polyurethan-Anlage für Clear-Coat Molding im Pilotmaßstab
- Faserschneide, Stapellängen 1,5-98 mm
- Trockenlufttrockner, Trocknungstemperatur-Einstellung bis 160 °C
- Polymer-Pulvermühle, Shredderanlage, Walzenmühle
- Laminat-Pressen (400 x 400 mm), temperierbar bis 400 °C, maximaler Pressdruck 10 N/mm

Preise und Ehrungen

Best Student Paper Award der 164. Tagung der Acoustical Society of America an Rico Meier für »Guided wave approach for inline photovoltaic module component inspection« 09.11.12, Kansas City, MO, USA

HTWK-Preis Mechatronik der Karl-Kolle-Stiftung an Florian Wallburg für seine Bachelorarbeit »Charakterisierung von Faserverbundlaminaten mittels Thermischer Spannungsanalyse« 26.01.13, Leipzig

Silicon-Award der 3. International Conference on Silicon Photovoltaik an Volker Naumann für seinen Konferenzbeitrag »Towards a physical model for potential-induced degradation (PID) of Si-solar cells« 27.03.13, Hameln

Silicon-Award der 3. International Conference on Silicon Photovoltaik an Felix Kaule für seinen Konferenzbeitrag »Modeling and testing the mechanical strength of solar cells« 27.03.13, Hameln

DGM-Preis der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde an Prof. Dr. Peter Gumbsch für seine herausragenden wissenschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Leistungen in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 23.05.13, Bochum

Werkstoffmechanik-Preis 2013 der Plansee SE Reutte, Österreich, an Tobias Amann für seine Doktorarbeit »Tribologische Untersuchung ausgewählter mesogener und ionischer Flüssigkeiten im Festkörperkontakt zur Entwicklung neuartiger Schmierstoffe« 18.06.13, Halle (Saale)

Best paper award des Symposiums Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde an Carla Beckmann für »Numerische Bestimmung von Material sicherheiten im Schaumkern« 05.07.13, Karlsruhe

Klaus Didillon-Förderpreis der Badischen Stahlwerke GmbH, Kehl, an Florian Stiele für seine Abschlussarbeit als Werkstoffprüfer und sein Konzept zur beruflichen Weiterbildung 14.11.13, Freiburg

Habilitation

Martin Dienwiebel
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Angewandte Nanotribologie – Reibungs- und Verschleißforschung auf der Nanoskala in technischen Anwendungen

Dissertationen

Tobias Amann
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Tribologische Untersuchung ausgewählter mesogener und ionischer Flüssigkeiten im Festkörperkontakt zur Entwicklung neuartiger Schmierstoffe; 748/2012

Marcus Brand
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Weiterentwicklung von Methoden in der numerischen Schweißsimulation; 353/2013

Ying Chen
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Deformation behavior of thin metallic wires under tensile and torsional loadings

Zhiming Chen
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Modelling the plastic deformation of iron

Sascha Haller
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Gestaltfindung: Untersuchungen zur Kraftkegelmethode

Sabine Körbel
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Atomistic modeling of Cu doping in the lead-free ferroelectric potassium sodium niobate; 701/2013

Spyridon Korres
Karlsruher Institut für Technologie KIT
On-line topographic measurements of lubricated metallic sliding surfaces; 294/2012

Michael Krause
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Ortsaufgelöste Bestimmung von Gitterverzerrungen in Silizium-Nanostrukturen mittels Elektronenrückstreubeugung; 620/2013

Dominik Lausch
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Einfluss struktureller Defekte auf die elektrischen Eigenschaften multikristalliner Silizium-Solarzellen; 918/2013

Gerhard Maier
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Mikrostruktur, Verformung und Lebensdauer der Legierung Alloy 617B. Experimente, Modelle und Bauteilvorhersagen; 407/2013

Katharina Menzer
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Morphologie, Perkolations- und mechanisches Verhalten von schmelzegemischten isotaktischen Polypropylenbasierten/MWCNT-Kompositen; 702/2013

Ganiu Babatunde Olowojoba
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Assessment of dispersion evolution of carbon nanotubes in shear-mixed epoxy suspensions by interfacial;polarization measurement

Wolfgang Rheinheimer
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Zur Grenzflächenanisotropie von SrTiO3

Sandra Sarembe
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Beiträge zur Bewertung von Verfärbungen und Reinigungsprozessen auf dentalen Oberflächen; 280/2013

Christian Schmidt
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Zerstörungsfreie dreidimensionale Defektlokalisierung an 3D-System-in-Packages (SiP) mittels Lock-in Thermographie; 623/2012

Simone Schreijäg
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Microstructure and mechanical behavior of deep drawing DC04 steel at different length scales

Christoph Schweizer
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Physikalisch basierte Modelle für Ermüdungsrisswachstum und Anrisslebensdauer unter thermischen und mechanischen Belastungen; 597/2013

Melanie Senn
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Optimale Prozessführung mit merkmalbasierter Zustandsverfolgung

Volker Franco Steier
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Entwicklung einer Herstellungsmethode für polymerinfiltrierte Keramiken; 9/2013

Tung Phan Van
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Modeling the mesoscopic and macroscopic deformation behavior of the ferritic stainless steel DC04

Matthias Weber
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Numerische Untersuchung der Mikrozenspannung zur Analyse der Ursachen des Skalierungsverhaltens der spezifischen Schnittkraft

Studentische Arbeiten
Bachelor (B), Master (M),
Diplom (D)

Stefan Ackermann
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Elektrotechnische und elektrochemische Charakterisierung leitfähiger Lackschichten für das elektrochemische Antifouling (M)

André Apel
Hochschule Anhalt, Köthen
Charakterisierung eines UV-vernetzenden Verkapselungsmaterials sowie Evaluierung und Inbetriebnahme einer UV-Vernetzungsanlage für Solarmodule (B)

Florian Bauer
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Examination of the acid resistance of enamel after application of tooth-pastes (M)

Friederike Benjamin
Jade Hochschule Wilhelmshaven
Bildanalyse von Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen zur Untersuchung der Mikrostruktur degenerierter Bandscheiben (B)

Thomas Böhme
Technische Universität Bergakademie Freiberg
Konstruktion eines Leichtbau-Rückseitenträgers für Solarmodule (B)

Ralf Breyer
Hochschule Merseburg
Untersuchung kommerzieller piezoelektrischer Materialien für die Anwendung in einem scannenden Luftschallsystem zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung von Kompositwerkstoffen (M)

Stefan Clare
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Betrachtung modellgetriebener Softwareentwicklung am Beispiel einer modularen Software zur Steuerung von piezogetriebenen Aktuatoren (B)

Marius Dickele
Hochschule Aalen
Evaluierung der inkementellen Bohrlochmethode zur Ermittlung von Eigenspannungen in thermoplastischen Verbundwerkstoffen (B)

Sebastian Dietrich
Technische Universität Dresden
Konstruktive und hydraulische Aspekte von Solarabsorberstrukturen in ETFE-Membrankissen (D)

Diego Elmer
Hochschule Offenburg
Charakterisierung und Modellierung der viskoelastischen Eigenschaften eines langfaserverstärkten Thermo-plasts (B)

PERSONEN, AUSBILDUNG, EREIGNISSE

- Minhao Fei
Hochschule Anhalt, Köthen
Untersuchung von elektrisch leitfähigen Schichten durch elektrochemische Messverfahren (B)
- Felix Frühauf
Hochschule Anhalt, Köthen
Charakterisierung von fluoreszierenden Verkapselungsmaterialien für die Anwendung in der Photovoltaik (B)
- Marcus Gläser
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Hochtaufgelöste korrelative Defektdiagnostik an Solarmodulen: optische und elektrische Fehlerbilder (M)
- Thomas Gläßer
Hochschule Anhalt, Köthen
Konstruktion und prototypischer Aufbau einer Vereinzelnungsanlage von Holzfaserveragglomeraten (B)
- Gereon Graser
Technische Hochschule Mittelhessen Gießen
Simulation des Biofoolings an Wasserfiltrationsmembranen und Charakterisierung abgeschiedener Biofilme (B)
- Franziska Greiner-Haas
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Induzierung und Bewertung der Biofilmbildung an Wasserfiltrationsmembranen (B)
- Lisa Grünhage
Hochschule Merseburg
Bewertung eines Versuchtsträgers aus Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und Erarbeitung von Alternativvorschlägen -2- (M)
- Philipp Günther
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Vergleich von herkömmlichen und fortschrittlichen Auslegungskonzepten für kritische Kraftwerkskomponenten am Beispiel einer druckführenden Rohrleitung (B)
- Kristian Hauck
Hochschule Anhalt, Köthen
Korrelation zwischen Fasergeometrie und Bauteileigenschaften in Naturfaser verstärkten Kunststoffen (B)
- Nico Höhle
Hochschule Anhalt, Köthen
Konzeption und Auslegung für in ETFE-Membrankissen integrierte Solarabsorber (M)
- Katalee Jariyavidyanont
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Development and application of preparation procedures for morphological characterization of multilayer polymer films (M)
- Enrico Kirsten
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Konstruktive Erweiterung einer in situ-Prüfvorrichtung für Röntgen-CT-Untersuchungen (B)
- Malte Köhler
Hochschule Anhalt, Köthen
Erzeugung und Charakterisierung von P2- und P3-Verschaltungsstrukturen in CIGS-Dünnschichtszellularen mit Laserprozessen (B)
- Alexander Kremser
Hochschule Offenburg
Berechnung der elastischen Eigenschaften faserverstärkter Kunststoffe mittels numerischer Homogenisierung (B)
- Klaudia Lichtenberg
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Einlaufverhalten von Stahl 56NiCrMoV7 unter Berücksichtigung der Mikrostruktur (D)
- Puong Thao Mai
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Charakterisierung des Einflusses der radialen, axialen und tangentialen Kohlebürstenpressrichtung auf die Tribologie des Elektromotors (B)
- Felix Maier
Hochschule Offenburg
Simulation der Phasenumwandlung von Zirkonoxid-Keramiken unter der mechanischen Belastung einer Vickersindention (B)
- Maximilian Müller
Technische Universität Braunschweig
Mechanische Charakterisierung von Sandwichstrukturen mit linienförmigen Kernverstärkungselementen (B)
- Maria Neumann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Selektive Biofunktionalisierung von dreidimensionalen porösen Templaten für die Anwendung als Biochip-Array (M)
- Truong Giang Ngo
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Konstruktion eines Nachführsystems für Solarmodule (B)
- Philipp Niggel
Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg
Optimierung der Hydrodynamik von Kunststoffen im Gleitkontakt (B)
- Matthias Nitz
Hochschule Darmstadt
Charakterisierung des Einflusses der Verarbeitungsbedingungen auf das Eigenschaftsprofil von kompakten Polyurethanen (B)
- Philipp Olschowski
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Zum Effekt der Topografie auf das Gleitverhalten geschmierter Kontakte (B)
- Samuel Pulvermacher
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Einlaufuntersuchungen an einer AISi9Cu3-Legierung (B)
- Christian Quintus
Hochschule Offenburg
Kriechermüdung von Kraftwerkskomponenten (B)
- Rahul Raga
Ernst Abbe Fachhochschule Jena
Finite element simulation of damage evolution and progression in ceramic materials under mechanical contact and friction (M)
- Ping Ren
Hochschule Anhalt, Köthen
Morphologieuntersuchungen an Dentinoberflächen nach Behandlung mit desensibilisierenden Zahnpasten (B)
- Lars Richter
Hochschule Merseburg
Entwicklung einer Anwendung zur Steuerung der Stapelverarbeitungsfunktionen in Abaqus (B)
- Marcel Schaller
Hochschule Anhalt, Köthen
In situ-Röntgen-CT-Untersuchung des mechanischen Verhaltens eines Polymerhartschaumstoffes im Zugversuch (B)
- Stefan Scheunemann
Hochschule Merseburg
Optimierung der Präparationsroutine für den elektrischen Wiederaufbau von mikroelektronischen Flip Chip-Bauteilen für die physikalische Fehleranalyse (B)
- Felix Schiebel
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Mechanische Phasenübergänge in Metamaterialien (M)
- Julia Schnürer
Hochschule Offenburg
Konzeption und Durchführung von statischen Versuchen an LFT-Bauteilen auf Basis numerischer Beanspruchungsanalysen (M)
- Sarah Scholze
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Untersuchungen zur Bestimmung der oberflächlichen Fluorid-Aufnahme an humanen Zahnschmelzproben (in vitro) (B)
- Thorsten Schultz
Universität Leipzig
Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften von Solarzellenverbindern mit Ultraschall (B)
- Ciarán Steger-Hoey
Universität Ulm
Influence of process parameters on properties of PECVD produced toluene based DLC thin films (M)
- Anja Straube
Technische Universität Ilmenau
Untersuchung mikromorphologischer Veränderungen der Gelenkflächen von humanen, degenerierten Facettengelenken und Rückschlüsse auf die biomechanischen Auswirkungen (M)
- Markus Stricker
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Strukturentstehung an der Oberfläche von reibbelasteten Wolfram-Oberflächen: Experimente zum Vergleich mit Simulationen (D)
- Marcus Stückroth
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Magnetmikroskopische Abbildungsverfahren an elektronischen Strukturen (D)
- Swami Subramaniyan Venkat
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Modelling of deformation and failure in a PC/ABS blend under crash relevant loading (M)
- Andra Thiele
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Bestimmung von Antioxidantien durch chemiluminometrische Detektion von Oxidationsmitteln (M)
- Michael Trinkner
Hochschule Mannheim
Herstellung und Untersuchung von hochtemperaturbeständigen Ag-dotierten TiAlN-Schichten (M)
- Jingyi Wang
Hochschule Anhalt, Köthen
Abscheidung von Haftvermittlerschichten auf Kunststofffolien mittels Atmosphärendruck-Aerosol-Plasma (B)
- Stefan Werrlich
Technische Universität Ilmenau
Entwicklung einer Fasertransport- und Dosiervorrichtung für die Faserzuführung eines Doppelschneckenextruders (B)
- Thomas Wunderle
Hochschule Offenburg
Bruchverhalten von Widerstandspunktschweißverbindungen in hochfesten Stählen (M)
- Lu Zhong
Hochschule Anhalt, Köthen
Untersuchung der Qualität elektrischer Kontakte in Photovoltaikmodulen (B)
- Marius Zimmermann
Hochschule Merseburg
Erstellung eines FE-Modells zur Abbildung der transienten Temperaturverteilung beim Löten von Solarzellen (M)

Gastwissenschaftler

Sherif Ahmed Abdel-Wahed
German University in Cairo
01.06-30.11.13

William Andrews
Goucher College, Baltimore, USA
01.06-31.08.13

Prof. Dr. Matthew R. Begley
University of California,
Santa Barbara, USA
Humboldt Preisträger
15.6.-31.7.13

Paula Casajus Grassi
Universität Madrid, Spanien
01.01.-31.12.13

Siyu Guo
National University of Singapore
18.07.-18.10.13

Damian Kachel
KST-Motorenversuch GmbH & Co. KG
12.08.-13.09.13

Dr. Iyas S. Khader
Deutsch-Jordanische Universität,
Amman, Jordanien
20 Tage in 2013

Sung Hwan Kim
Traineeprogramm Hyundai Motor
Group
01.01.-25.10.13

Dr. Tianbao Ma
Tsinghua University, China
26.01.-31.12.13

Prof. Hermann Nied
Mechanical Engineering and
Mechanics at Lehigh University,
Bethlehem, PA, USA
01.01.-31.08.13

Raphael Schubert
Marie Curie Stipendium
01.10.-31.12.13

Dariusz Seif
University of California, LA, USA
01.12.-31.12.13

Dr. Aadesh Pratap Singh
Indian Institute of Technology,
New Delhi
29.07.-31.12.13

Prof. Dr. Yunzhi Wang
The Ohio State University,
Columbus, OH, USA
01.06.13-31.12.13

Vorlesungen WS 2012/2013

**Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg**

Electronic Structure of Condensed
Matter 1
Dr. Christian Elsässer

Fachhochschule Südwestfalen

Photovoltaic and Energy Efficiency
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Wind and other Renewables
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Wind Generation and Energy
Management
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Hochschule Anhalt, Köthen

Silizium
Prof. Dr. Jörg Bagdahn

Microsystems Technology
Prof. Dr. Andreas Heilmann

Hochschule Merseburg

Polymerphysik
Prof. Dr. Mario Beiner

Photovoltaik
Dr. Christian Hagendorf

Einführung in die Mikrosystem-
technik
Prof. Dr. Matthias Petzold, Frank
Altmann, Michél Simon-Najasek

Hochschule Offenburg

Werkstoffe in der Medizintechnik
und Konstruktionselemente
Dr. Raimund Jaeger

**Karlsruher Institut für
Technologie KIT**

Nanotechnologie und -mechanik
Dr. Martin Dienwiebel, Dr. Hendrik
Hölscher

Nanotechnologie für Ingenieure und
Naturwissenschaftler
Dr. Martin Dienwiebel, Dr. Hendrik
Hölscher, Dr. Stefan Walheim

Mechanik von Mikrosystemen
Dr. Chris Eberl

Größeneffekte in mikro- und nano-
strukturierten Materialien
Prof. Dr. Peter Gumbsch, Dr. Daniel
Weygand, Dr. Patric Gruber,
Dr. Martin Dienwiebel, Dr. Chris
Eberl

Angewandte Werkstoffsimulation
Prof. Dr. Peter Gumbsch, Prof. Dr.
Britta Nestler, Anastasia August,
Dr. Claas Bierwisch, Dr. Dirk Helm,
Dr. Silke Sommer, Dr. Matthias
Weber

Versagensverhalten von Konstruk-
tionswerkstoffen: Verformung und
Bruch
Prof. Dr. Peter Gumbsch, Prof. Dr.
Oliver Kraft, Dr. Daniel Weygand

Prozesssimulation in der Umform-
technik
Dr. Dirk Helm

Tribologie A
Prof. Dr. Matthias Scherge,
Dr. Martin Dienwiebel

Dynamik
Dr. Ingo Schmidt

Kontinuumsmechanik
Dr. Ingo Schmidt

**Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg**

Photovoltaics and Solar Energy
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Siliziumchemie und Halbleitertechno-
logie
Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

Universität Leipzig

Abbildung und Analyse mit
Elektronen (Modul »Modifizierung
von Oberflächen mit Plasmen«)
Prof. Dr. Thomas Höche

Universität Siegen

Composites I – Verbundwerkstoffe
Dr. Jörg Hohe

Vorlesungen SS 2013

**Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg**

Electronic Structure of Condensed
Matter 2
Dr. Christian Elsässer

**Burg Giebichenstein Kunsthoch-
schule, Halle**

Werkstoffe und Konstruktion
Andreas Krombholz

Fachhochschule Südwestfalen

Fuel Cells and Energy Parks
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Regenerative Energiequellen
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Hochschule Anhalt, Köthen

Advanced Photovoltaic
Prof. Dr. Jörg Bagdahn

Hochschule Merseburg

Auslegung, Zuverlässigkeit und
Diagnostik von Mikrosystemen
Prof. Dr. Matthias Petzold, Prof. Dr.
Sebastian Brand, Frank Altmann,
Michel Simon-Najasek, Dr. Andreas
Graff, Michael Krause, Georg Lorenz

Anwendung von Kunststoffen in der
Photovoltaik
Dr. Stefan Schulze

Polymercharakterisierung
Dr. Stefan Schulze

**Karlsruher Institut für
Technologie KIT**

Atomistische Simulation und
Molekulardynamik
Prof. Dr. Peter Gumbsch

Tribologie B
Prof. Dr. Matthias Scherge,
Dr. Martin Dienwiebel

**Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg**

Experimentelle Methoden der
Polymerphysik
Prof. Dr. Mario Beiner

Technische Universität Ilmenau

Anwendungen der Kunststoffverar-
beitung
Dr. Sven Henning

Universität Siegen

Composites II – Werkstoffverbunde
Dr. Jörg Hohe

Vom Fraunhofer IWM organisierte Fachveranstaltungen

Praxisseminar Bruchmechanische Prüfverfahren (DVM)
20.-21.03.13, Freiburg

CAM-Workshop 2013: Failure analysis and quality assurance in power electronics
09.-10.04.13, Halle (Saale)

Workshop Materials chemomechanics at the atomic-scale: modeling and experiments
29.04-02.05.13, Lausanne, CH

2nd NanoMill® User Group Workshop
05.-06.06.13, Halle und Leipzig

Jubiläums-Workshop 5 Jahre Innovationscluster KITE hyLITE
19.-20.06.13, Pfinztal

Workshop Hochleistungskeramik Teil III: Konstruktion, Prüfung
14.-15.11.13, Freiburg

Workshop MAFoam – Modular Algorithms for Closed Foam Mechanics
11.09.13, Halle (Saale)

Symposium Ultramikrotomie in der Materialforschung
08.-10.10.13, Halle (Saale)

Weitere öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Lange Nacht der Wissenschaften 2013: Dem Allerkleinsten auf der Spur – Einblicke in die Nano-Welt
05.07.13, Halle (Saale)

Girls' Day
Workshop für Schülerinnen
25.04.13, Freiburg und Halle (Saale)

Freiburger Wissenschaftsmarkt
12.-13.07.13, Freiburg

Messen mit Fraunhofer IWM-Beteiligung

Internationale Grüne Woche: Biofliesen und wärmebeständige Biopolymere
18.-27.01.13, Berlin

JEC Composites Show & Conferences
12.-14.03.13, Paris

63rd Electronic Components & Technology Conference ECTC
28.-30.05.2013, Las Vegas, USA

Intersolar
19.-21.06.2013, München

Composites Europe
17.-19.09.13, Stuttgart

EU PVSEC European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
01.-03.10.13, Paris

Messe K – Messe für Kunststoff und Kautschuk
16.-23.10.13, Köln

Erteilte Patente 2013

Kübler, R.; Rist, T.; Hötger, B.
Verfahren und Vorrichtung zum Heraustrennen von Einzelscheiben aus einer Verbundglastafel
Patent-Nr. DE 10 2010 012 265

Kolloff, R.; Kordisch, H.; Spieß, G.; Kübler, R.; Döll, W.; Glaser, S.; Pöhler, M.; Friedl, W.
Method for laser-induced thermal separation of plane glass
Patent-Nr. CA 2,559,184

Schäfer, R.; Sander, M.; Dietrich, S.; Ebert, M.
Belastungseinrichtung zur Erzeugung von Flächenlasten auf plattenförmige Bauteile
Patent-Nr. EP2 457 080 B1

Wehrspohn, R.B.; Steinhart, M.
Method for producing a 3-dimensional molded body comprising polymer-containing material and a method for producing an adhesive bond between a polymer-containing material and a three-dimensional molded body
Patent-Nr. US8,480,941 B2

Grosse, C.; Altmann, F.; Simon, M.; Hoffmeister, H.; Riemer, D.
Method for producing a micro-gripper
Patent-Nr. US8,530,855 B2

- Amann, T.; Dold, C.; Kailer, A.
Complex fluids in tribology to reduce friction: mesogenic fluids, ionic liquids and ionic liquid crystals
Tribology International 65 (2013) 3-12; 472/2012
- Bartel, T.; Lauer, K.; Heuer, M.; Kaes, M.; Walerysiak, M.; Gibaja, F.; Lich, J.; Bauer, J.; Kirscht, F.
The effect of Al and Fe doping on solar cells made from compensated silicon
Energy Procedia 27, Proc. of 2nd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon PV 2012 (2012) 45-52; 840/2012
- Bauer, J.; Naumann, V.; Großer, S.; Hagendorf, C.; Schütze, M.; Breitenstein, O.
On the mechanism of potential-induced degradation in crystalline silicon solar cells
Physica Status Solidi – Rapid Research Letters 6/8 (2012) 331-333; 278/2013
- Beckmann, C.; Hohe, J.
Assessment of material uncertainties in solid foams based on local homogenization procedures
International Journal of Solids and Structures 49/19-20 (2012) 2807-2822; 483/2013
- Beckmann, C.; Hohe, J.
Numerical assessment of disorder effects in metal foam core sandwich beams based on a local homogenization procedure
PAMM 12/1 Special Issue: 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics GAMM (2012) 415-416; 726/2012
- Bernstein, A.; Niemeyer, P.; Salzmann, G.; Sudkamp, N.P.; Hube, R.; Klehm, J.; Menzel, M.; von Eisenhart-Rothe, R.; Bohner, M.; Gorz, L.; Mayr, H.O.
Microporous calcium phosphate ceramics as tissue engineering scaffolds for the repair of osteochondral defects: histological results
Acta Biomaterialia 9/7 (2013) 7490-7505; 822/2013
- Bitzek, E.; Gumbsch, P.
Mechanisms of dislocation multiplication at crack tips
Acta Materialia 61/4 (2013) 1394-1403; 7/2013
- Böhme, W.; Lienhard, J.; Memhard, D.
Charakterisierung und Modellierung von Stahl-Kleberverbindungen unter crashartiger Belastung
Materials Testing 55/9 (2013) 660-667; 729/2013
- Braga, R.R.; Koplín, C.; Yamamoto, T.; Tyler, K.; Ferracane, J.L.; Swain, M.V.
Composite polymerization stress as a function of specimen configuration assessed by crack analysis and finite element analysis
Dental Materials 29/10 (2013) 1026-1033; 717/2013
- Breinlinger, T.; Polfer, P.; Hashibon, A.; Kraft, T.
Surface tension and wetting effects with smoothed particle hydrodynamics
Journal of Computational Physics 243 (2013) 14-27; 212/2013
- Chen, Z.M.; Mrovec, M.; Gumbsch, P.
Atomistic aspects of 1/2 <111> screw dislocation behavior in α -iron and the derivation of microscopic yield criterion
Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering 21/5 (2013) 055023 1-18; 494/2013
- Colonna, F.; Fasolino, A.; Meijer, E.J.
Graphitization of single-wall nanotube bundles at extreme conditions: collapse or coalescence route
Physical Review B 88/16 (2013) 165416 1-5; 934/2013
- de Pablos-Martín, A.; Patzig, C.; Höche, T.; Duran, A.; Pascual, M.J.
Distribution of thulium in Tm³⁺-doped oxyfluoride glasses and glass-ceramics
CrystEngComm 15/35 (2013) 6979-6985; 576/2013
- de Pablos-Martín, A.; Ristic, D.; Bhattacharyya, S.; Hoeche, T.; Mather, G.C.; O Ramirez, M.; Soria, S.; Ferrari, M.; Righini, G.C.; Bausá, L.E.; Durán, A.; Pascual, M.J.; McKittrick, J.
Effect of the addition of Tm³⁺ on the crystallisation of LaF₃ nanocrystals in oxyfluoride glasses: optical characterisation and up-conversion
Journal of the American Ceramic Society 96/2 (2013) 447-457; 250/2013
- Dold, C.; Amann, T.; Kailer, A.
Influence of structural variations on imidazolium based ionic liquids
Lubrication Science 25/4 (2013) 1557-6833; 239/2012
- Drebov, N.; Tyutyulkov, N.; Dietz, F.
Magnetic properties of langmuir-blodgett (LB) films: a theoretical study. III. LB films consisting of different types of stable π -monoradicals
Langmuir 29/3 (2013) 873-880; 327/2013
- Dyrba, M.; Krause, S.; Pfau, C.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.
Samarium fluorescence efficiency in high mass density borate glasses
Radiation Measurements 56 (2013) 36-39; 730/2013
- Eichel, R.-A.; Erüna, E.; Jakes, P.; Körbel, S.; Elsässer, C.; Kungl, H.; Acker, J.; Hoffmann, M.J.
Interactions of defect complexes and domain walls in CuO-doped ferroelectric (K, Na) NbO₃
Applied Physics Letters 102 (2013) 242908 1-5; 487/2013
- Feser, T.; Stoyanov, P.; Mohr, F.; Dienwiebel, M.
The running-in mechanisms of binary brass studied by in situ topography measurements
Wear 303/1-2 (2013) 465-472; 369/2013
- Gall, M.; Thielike, B.
Fatigue lifetime study of piezoceramic patch transducers
Acta Mechanica 224/11 (2013) 2529-2545; 82/2013
- Garesci, F.; Flieger, S.
Young's modulus prediction of long fiber reinforced thermoplastics
Composites Science and Technology 85 (2013) 142-147; 489/2013
- Gawronski, A.; Patzig, C.; Höche, T.; Rüssel, C.
High-strength glass-ceramics in the system MgO/Al₂O₃/SiO₂/ZrO₂/Y₂O₃ – microstructure and properties
CrystEngComm 15/31 (2013) 6165-6176; 322/2013
- Greve, L.; Fehrenbach, C.
Mechanical testing and macro-mechanical finite element simulation of the deformation, fracture, and short circuit initiation of cylindrical lithium ion battery cells
Journal of Power Sources 214 (2012) 377-385; 394/2013
- Hardenacke, V.; Hohe, J.; Friedmann, V.; Siegele, D.
Enhancement of the micro mechanical basis for local approach cleavage models
PAMM 12/1 Special Issue: 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics GAMM (2012) 143-144; 727/2012
- Hauptmann, V.; Weichert, N.; Menzel, M.; Knoch, D.; Paegge, N.; Scheller, J.; Spohn, U.; Conrad, U.; Gils, M.
Native-sized spider silk proteins synthesized in planta via intein-based multimerization
Transgenic Research 22/2 (2013) 369-377; 813/2013
- Heierli, J.; Gumbsch, P.; Sherman, D.
Anticrack-type fracture in brittle foam under compressive stress
Scripta Materialia 67/1 (2012) 96-99; 806/2012
- Held, A.; Moseler, M.; Walter, M.
Charging properties of gold-clusters in different environments
Physical Review B 87/4 (2013) 045411 1-11; 24/2013
- Henning, S.; Adhikari, R.; Borreck, S.; Buschnakowski, M.; Michler, G.H.
Micromechanical studies of styrenic block copolymer blends based nanocomposites
Macromolecular Symposia 327/1 (2013) 85-93; 511/2013
- Höche, T.; Ikeno, H.; Mäder, M.; Henderson, G.S.; Blyth, R.I.R.; Sales, B.C.; Tanaka, I.
Vanadium L_{2,3} XANES experiments and first-principles multielectron calculations: impact of second-nearest neighboring cations on vanadium-bearing fresnoites
American Mineralogist 98/4 (2013) 665-670; 289/2013
- Höche, T.; Weidenkaff, A.; Terasaki, I.
Preface: progress in synthesis and characterization of energy materials
Journal of Materials Science 48/7 (2013) 2743-2744; 245/2013

- Hölzer, S.; Menzel, M.; Zia, Q.; Schubert, U.S.; Beiner, M.; Weidisch, R.
Blends of ethylene – octene copolymers with different chain architectures – morphology, thermal and mechanical behavior
 Polymer 54 /19 (2013) 5207-5213; 805/2013
- Hohe, J.
Effect of core and face sheet anisotropy on the natural frequencies of sandwich shells with composite faces
 International Journal of Composite Materials 3/6B (2013) 40-52; 870/2013
- Hohe, J.; Beckmann, C.
Local probabilistic homogenization schemes for assessment of material uncertainties in solid foams
 PAMM 12/1 Special Issue: 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics GAMM (2012) 427-428; 725/2012
- Ikeno, H.; Krause, M.; Höche, T.; Patzig, C.; Hu, Y.; Gawronski, A.; Tanaka, I.; Rüssel, C.
Variation of Zr-L2,3 XANES in tetravalent zirconium oxides
 Journal of Physics: Condensed Matter 25/16 (2013) 165505-165513; 282/2013
- Järvi, T.; Mayrhofer, L.; Polvi, J.; Nordlund, K.; Pastewka, L.; Moseler, M.
Adaptive molecular decomposition: large-scale quantum chemistry for liquids
 Journal of Chemical Physics 138/10 (2013) 10; 16/2013
- Jamin, C.; Rasp, T.; Kraft, T.; Guillon, O.
Constrained sintering of alumina stripe patterns on rigid substrates: effect of stripe geometry
 Journal of the European Ceramic Society 33/15-16 (2013) 3221-3230; 687/2013
- John, M.; Skala, T.; Wagner, T.; Schlimper, R.; Rinker, M.; Schäuble, R.
Dimensional changes in CFRP/PMI foam core sandwich structures
 Applied Composite Materials 20/4 (2013) 601-614; 722/2012
- Kaib, T.; Bron, P.; Haddadpour, S.; Mayrhofer, L.; Pastewka, L.; Jaervi, T.T.; Moseler, M.; Roling, B.; Dehnen, S.
Lithium chalcogenidotetrelates: LiChT – synthesis and characterization of new lithium ion conducting li/sn/se compounds
 Chemistry of Materials 25/15 (2013) 2961-2969; 17/2013
- Khader, I.; Renz, A.; Kailer, A.; Haas, D.
Thermal and corrosion properties of silicon nitride for copper die casting components
 Journal of the European Ceramic Society 33/3 (2013) 593-602; 464/2012
- Körner, W.; Gumbsch, P.; Elsässer, C.
Analysis of electronic subgap states in amorphous semiconductor oxides based on the example of Zn-Sn-O system
 Physical Review B 86/16 (2012) 1652 1-5; 749/2012
- Körner, W.; Elsässer, C.
Eigenschaften amorpher transparenter leitfähiger Oxide (a-TCOs)
 Vakuum in Forschung und Praxis 25/3 (2013) 32-37; 477/2013
- Körner, W.; Urban, D.F.; Elsässer, C.
Origin of subgap states in amorphous In-Ga-Zn-O
 Journal of Applied Physics JAP 114/16 (2013) 163704 1-6; 858/2013
- Köster, U.; Jaeger, R.; Bardts, M.; Wahnes, C.; Büchner, H.; Kühn, K.; Vogt, S.
Creep and fatigue behavior of a novel 2-component paste-like formulation of acrylic bone cements
 Journal of Materials Science – Materials in Medicine 24/6 (2013) 1395-1406; 283/2013
- Kohal, R.J.; Bächle, M.; Att, W.; Chaar, S.; Altmann, B.; Renz, A.; Butz, F.
Osteoblast and bone tissue response to surface modified zirconia and titanium implant materials
 Dental Materials 29/7 (2013) 763-776; 295/2013
- Korres, S.; Feser, T.; Dienwiebel, M.
A new approach to link the friction coefficient with topography measurements during plowing
 Wear 303/1-2 (2013) 202-210; 354/2013
- Krause, S.; Miclea, P.T.; Steudel, F.; Schweizer, S.; Seifert, G.
Precise microstructuring of indium-tin oxide thin films on glass by selective femtosecond laser ablation
 EPJ Photovoltaics 4 (2013) 40601-40605; 121/2013
- Lagger, H.; Bierwisch, C.; Moseler, M.
MRF in a plate-plate magnetorheometer: numerical insight into the particle-wall interface
 Journal of Physics: Conference Series 412/1 (2013) 012020; 476/2012
- Lakshmanan, S.; Koch, T.; Brand, S.; Männicke, N.; Wicke, M.; Mörlin, D.; Raum, K.
Prediction of the intramuscular fat content in loin muscle of pig carcasses by quantitative time-resolved ultrasound
 Meat Science 90/1 (2012) 216-225; 308/2013
- Lauer, K.; Möller, C.; Neckermann, K.; Blech, M.; Herms, M.; Mchedlidze, T.; Weber, J.; Meyer, S.
Impact of a p-type solar cell process on the electrical quality of czochralski silicon
 Energy Procedia 38, Proc. of 3rd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon PV 2013 (2013) 589-596; 716/2013
- Li, K.; Amann, T.; Walter, M.; Moseler, M.; Kailer, A.; Rühle, J.
Ultralow friction induced by tribochemical reactions: a novel mechanism of lubrication on steel surfaces
 Langmuir 29/17 (2013) 5207-5213; 238/2013
- Li, M.; Campbell, C.; Thornton, K.; Holm, E.; Gumbsch, P.
A look ahead to the second world congress on integrated computational materials engineering
 Journal of the Minerals, Metals & Materials Society 65/5 (2013) 583-583; 448/2013
- Li, X.; Xiao, Y.; Ho Bang, J.; Lausch, D.; Meyer, S.; Miclea, P.-T.; Jung, J.-Y.; Schweizer, S.; Lee, J.; Wehrspohn, R.B.
Upgraded silicon nanowires by metal-assisted etching of metallurgical silicon: a new route to nanostructured solar-grade
 Advanced Materials 25/23 (2013) 3187-3191; 377/2013
- Li, X.; Xiao, Y.; Yan, C.; Song, J.; Talalae, V.; Schweizer, L.S.; Piekalska, K.; Sprafke, A.; Lee, J.; Wehrspohn, R.B.
Fast electroless fabrication of uniform mesoporous silicon layers
 Electrochimica Acta 94 (2013) 57-61; 305/2013
- Li, X.; Xiao, Y.; Yan, C.; Zhou, K.; Schweizer, L.S.; Sprafke, A.; Lee, J.; Wehrspohn, R.B.
Influence of the mobility of Pt nanoparticles on the anisotropic etching properties of silicon
 Electrochemical and Solid-State Letters 2/2 (2013) 22-24; 304/2013
- Lin, Y.; Xie, D.; Massa, W.; Mayrhofer, L.; Lippert, S.; Ewers, B.; Chernikov, A.; Koch, M.; Dehnen, S.
Changes in the structural dimensionality of selenidostannates in ionic liquids: formation, structures, stability, and photoconductivity
 Chemistry – A European Journal 19/17 (2013) 8806-8813; 713/2013
- Maeder, M.; Höche, T.; Rauschenbach, B.
Non-periodic nanoscale templates for sculptured thin-film deposition by diffraction mask projection laser ablation
 Physica Status Solidi A 209/11 (2012) 2208-2211; 252/2013
- Maier, G.; Riedel, H.; Nieweg, B.; Somsen, C.; Eggeler, G.; Klöwer, J.; Mohrmann, R.
Cyclic deformation and lifetime of alloy 617B during thermo-mechanical fatigue
 Materials at High Temperatures 30/1 (2013) 27-35; 619/2013
- Maier, G.; Riedel, H.; Somsen, C.
Cyclic deformation and lifetime of alloy 617B during isothermal low cycle fatigue
 International Journal of Fatigue 55 (2013) 126-135; 617/2013
- Marchetto, D.; Benzig, R.; Korres, S.; Dienwiebel, M.
Design and testing of ultrahigh vacuum microtribometer
 Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces 6/3 (2012) 95-101; 284/2013
- Marchetto, D.; Held, C.; Hausen, F.; Wählich, M.; Dienwiebel, M.; Bennowitz, R.
Friction and wear on single-layer epitaxial graphene in multi-asperity contacts
 Tribology Letters 48/1 (2012) 77-82; 288/2013

- Mayr, H.O.; Klehm, J.; Schwan, S.; Hube, R.; Sudkamp, N.P.; Niemeyer, P.; Salzmann, G.; von Eisenhardt-Rothe, R.; Heilmann, A.; Bohner, M.; Bernstein, A.
Microporous calcium phosphate ceramics as tissue engineering scaffolds for the repair of osteochondral defects: biomechanical results
Acta Biomaterialia 9/1 (2013) 4845-4855; 265/2013
- Metzger, M.; Seifert, T.
On the exploitation of armstrong-frederik type nonlinear kinematic hardening in the numerical integration and finite-element implementation of pressure dependent plasticity models
Computational Mechanics 52/3 (2013) 515-524; 136/2013
- Meyer, S.; Richter, S.; Timmel, S.; Gläser, M.; Werner, M.; Swatek, S.; Hagendorf, C.
Snail trails: root cause analysis and test procedures
Energy Procedia 38, Proc. of 3rd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon PV 2013 (2013) 498-505; 425/2013
- Naumann, V.; Hagendorf, C.; Großer, S.; Werner, M.; Bagdahn, J.
Micro structural root cause analysis of potential induced degradation in c-Si solar cells
Energy Procedia 27, Proc. of 2nd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon PV 2012 (2012) 1-6; 624/2012
- Naumann, V.; Lausch, D.; Graff, A.; Werner, M.; Swatek, S.; Bauer, J.; Hähnel, A.; Breitenstein, O.; Großer, S.; Bagdahn, J.; Hagendorf, C.
The role of stacking faults for the formation of shunts during potential-induced degradation of crystalline Si solar cells
Physica Status Solidi – Rapid Research Letters 7/5 (2013) 315-318; 381/2013
- Naumann, V.; Lausch, D.; Großer, S.; Werner, M.; Swatek, S.; Hagendorf, C.; Bagdahn, J.
Microstructural analysis of crystal defects leading to potential-induced degradation (PID) of Si solar cells
Energy Procedia 33, PV Asia Pacific Conference 2012 (2013) 76-83; 495/2013
- Neubrand, A.; Dadda, J.; Müller, E.; Perlt, S.; Höche, T.
Spatially resolved thermal conductivity measurement using a thermoreflectance microprobe
Journal of Electronic Materials 42/7 (2013) 2165-2171; 265/2012
- Paßlick, C.; Johnson, J.A.; Schweizer, S.
Crystallization studies on rare-earth co-doped fluorozirconate-based glasses
Journal of Non-crystalline Solids 371-372 (2013) 33-36; 395/2013
- Pastewka, L.; Klemenz, A.; Gumbsch, P.; Moseler, M.
Screened empirical bond-order potentials for Si-C
Physical Review B 87/20 (2013) 205410-205422; 21/2013
- Pastewka, L.; Malola, S.; Moseler, M.; Koskinen, P.
Li⁺ adsorption at prismatic graphite surfaces enhances interlayer cohesion
Journal of Power Sources 239 (2013) 321-325; 19/2013
- Pastewka, L.; Prodanov, N.; Lorenz, B.; Müser, M.; Robbins, M.O.; Persson, B.N.J.
Finite-size scaling in the interfacial stiffness of rough elastic contacts
Physical Review E 87/6 (2013) 062809-062818; 691/2012
- Paxton, A.T.; Elsässer, C.
Analysis of a carbon dimer bound to a vacancy in iron using density functional theory and a tight binding model
Physical Review B 87/22 (2013) 224110-224120; 474/2013
- Pfau, C.; Paßlick, C.; Gray, S.K.; Johnson, J.A.; Johnson, C.E.; Schweizer, S.
Mössbauer spectroscopy of europium-doped fluorochlorozirconate glasses and glass ceramics: optimization of storage phosphors in computed radiography
Journal of Physics: Condensed Matter 25/20 (2013) 205402-205408; 331/2013
- Polvi, J.; Luukkonen, P.; Nordlund, K.; Järvi, T.; Kemper, T.; Sinnott, S.
Primary radiation defect production in polyethylene and cellulose
Journal of Physical Chemistry B 116/47 (2012) 13932-13938; 15/2013
- Rasp, T.; Kraft, T.; Riedel, H.
Discrete element study on the influence of initial coordination numbers on sintering behavior
Scripta Materialia 69/11-12 (2013) 805-808; 857/2013
- Sander, M.; Dietrich, S.; Pander, M.; Ebert, M.; Bagdahn, J.
Systematic investigation of cracks in encapsulated solar cells after mechanical loading
Solar Energy Materials and Solar Cells 111 (2013) 82-89; 302/2013
- Scherge, M.; Böttcher, R.; Richter, M.; Gurgel, U.
High-speed ice friction experiments under lab-conditions – on the influence of speed and normal force
ISRN Tribology 2013 (2013) 703202 1-6; 562/2012
- Scherge, M.; Kramlich, J.; Böttcher, R.; Hoppe, T.
Running-in due to material transfer of lubricated steel/PA46 (aliphatic polyamide) contacts
Wear 301/1-2 (2013) 758-762; 117/2013
- Scherge, M.; Sarembe, S.; Kiesow, A.; Petzold, M.
Dental tribology at the microscale
Wear 297/1-2 (2013) 1040-1044; 74/2013
- Schmidt, I.; Riedel, H.; Svoboda, J.
Numerical simulation of organic binder decomposition and combined seepage- and diffusive transport of the gaseous reaction products through a porous green body during thermal debinding of ceramic parts
PAMM 12/1 Special Issue: 83rd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics GAMM (2012) 397-398; 181/2012
- Schoenfelder, S.; Breitenstein, O.; Rissland, S.; De Donno, R.; Bagdahn, J.
Kerfless wafering for silicon wafers by using a reusable metal layer
Energy Procedia 38, Proc. of 3rd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon PV 2013 (2013) 942-949; 917/2013
- Schriever, C.; Wehrspohn, R.B.
Stretching silicon's potential
Nature Materials 11/2 (2012) 96-97; 79/2013
- Schulze, M.; Bercieux, D.; Urban, D.F.
Adiabatic pumping in the quasi-one-dimensional triangle lattice
Physical Review B 87/2 (2013) 024301 1-6; 920/2013
- Skrzypczak, U.; Pfau, C.; Bohley, C.; Seifert, G.; Schweizer, S.
Influence of BaCl₂ nanocrystal size on the optical properties of Nd³⁺ in fluorozirconate glass
Journal of Physical Chemistry C 117/20 (2013) 10630-10635; 445/2013
- Skrzypczak, U.; Pfau, C.; Bohley, C.; Seifert, G.; Schweizer, S.
Judd-Ofelt calculations for Nd³⁺-doped fluorozirconate-based glasses and glass ceramics
Dataset Papers in Physics 2013 (2013) 236421 1-4; 320/2013
- Skrzypczak, U.; Pfau, C.; Bohley, C.; Seifert, G.; Schweizer, S.
Particle size monitoring of BaCl₂ nanocrystals in fluorozirconate glasses
Journal of Non-crystalline Solids 363 (2013) 205-208; 104/2013
- Sprafke, A.N.; Schneevoigt, D.; Seidel, S.; Schweizer, S.L.; Wehrspohn, R.B.
Automated spray coating process for the fabrication of large-area artificial opals on textured substrates
Optics Express 21/53 (2013) A528-A538; 389/2013
- Srivastava, K.; Gröger, R.; Weygand, D.; Gumbsch, P.
Dislocation motion in tungsten: atomistic input to discrete dislocation simulations
International Journal of Plasticity 47 (2013) 126-142; 131/2013
- Steglich, M.; Patzig, C.; Berthold, L.; Schrepel, F.; Fuchs, K.; Höche, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Heteroepitaxial Ge-on-Si-by DC magnetron sputtering: a combined ellipsometry/TEM study
AIP Advances 3/7 (2013) 072108 1-8; 573/2013
- Steier, V.; Koplin, C.; Kailer, A.
Influence of pressure-assisted polymerization on the microstructure and strength of polymer-infiltrated ceramics
Journal of Materials Science 48/8 (2013) 3239-3247; 76/2013
- Stoyanov, P.; Romero, P.; Jaervi, T.T.; Pastewka, L.; Scherge, M.; Stemmer, P.; Fischer, A.; Dienwiebel, M.; Moseler, M.
Experimental and numerical atomistic investigation of the third body formation process in dry tungsten/tungsten-carbide tribo couples
Tribology Letters 50/1 (2013) 67-80; 26/2013

Stoyanov, P.; Stemmer, P.; Jaervi, T.T.; Merz, R.; Romero, P.R.; Scherge, M.; Kopnarski, M.; Moseler, M.; Fischer, A.; Dienwiebel, M.

Friction and wear mechanisms of tungsten – carbon systems: a comparison of dry and lubricated conditions
ACS Applied Material Interfaces 5/13 (2013) 6123-6135; 770/2013

Syha, M.; Trenkle, A.; Lödermann, B.; Graff, A.; Ludwig, W.; Weygand, D.; Gumbsch, P.

Validation of three-dimensional diffraction contrast tomography reconstructions by means of electron backscatter diffraction characterization
Journal of Applied Crystallography 46 (2013) 1145-1150; 584/2013

Turek, M.

Influence of bulk and surface properties on measurable steady-state carrier-lifetime
Energy Procedia 27, Proc. of 2nd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon PV 2012 (2012) 33-37; 550/2012

Uhlmann, E.; Borsoi Klein, T.; Schweitzer, L.; Neubrand, A.
NC-Form grinding of carbon fibre reinforced silicon carbide composite
Key Engineering Materials 535-536 (2013) 314-317; 741/2012

Walter, M.; Amann, T.; Li, K.; Kailer, A.; Rühle, J.; Moseler, M.
1,3-Diketone fluids and their complexes with iron
Journal of Physical Chemistry A 117/16 (2013) 3369-3376; 25/2013

Wehrspohn, R.B.; Schweizer, S.L.; Gesemann, B.; Pergande, D.; Geppert, T.M.; Moretton, S.; Lambrecht, A.
Macroporous silicon and its application in sensing
Comptes Rendus Chimie 16/1 (2013) 51-58; 236/2013

Weps, M.; Naumenko, K.; Altenbach, H.
Unsymmetric three-layer laminat with soft core for photovoltaic modules
Composite Structures 105 (2013) 332-339; 568/2013

Wessely, P.J.; Wessely, F.; Birinci, E.; Riedinger, B.; Schwalke, U.
Transfer-free grown bilayer graphene transistors for digital applications
Solid-State Electronics 81 (2013) 86-90; 261/2013

Winzer, N.; Khader, I.
Hydrogen diffusion and trapping in bodies undergoing rolling contact
Wear 303/1-2 (2013) 451-458; 364/2013

Wohlfahrt, H.; Nitschke-Pagel, Th.; Dilger, K.; Siegele, D.; Brand, M.; Sakkittibutra, J.; Loose, T.
Residual stress calculations and measurements – review and assessment of the IIW round robin results
Welding in the World 56/9-10 (2012) 120-140; 503/2013

Zapara, M.; Tutyshkin, N.; Müller, W.H.
Growth and closure of voids in metal at negative stress triaxialities
Key Engineering Materials 554-557 (2013) 1125-1132; 159/2013

Ziegler, J.; Otto, M.; Sprafke, A.N.; Wehrspohn, R.B.
Activation of Al₂O₃ passivation layers on silicon by microwave annealing
Applied Physics A 113/2 (2013) 285-290; 957/2013

ZEITSCHRIFTEN

Burget, S.; Sommer, S.
Untersuchungen zum Bruchverhalten von Widerstandspunktschweißverbindungen in hochfesten Stählen
Schweiß- und Prüftechnik Sonderausgabe (2013) 16-20; 763/2013

Gall, M.; Hohe, J.
Bewertung großserienfähiger CFK-Werkstoffe
Carbon Composites Magazin 2 (2013) 38; 652/2013

Gurr, M.; Fromm, A.; Burmeister, F.
Herstellung funktionaler Oberflächen
Konstruktion 6 (2013) IW 5-7; 587/2013

Hanke, T.; Lucas, J.; Heilmann, A.
Einsatzverhalten von ETFE-Membrankissenkonstruktionen
Bautechnik 90 (2013) 239-243; 471/2013

Kailer, A.
Die Risiken von Keramiklagern werden in der Regel überschätzt
MM MaschinenMarkt (2013) 70-71; 380/2013

Kailer, A.
Neuartige Schmierstoffe auf der Basis von Liquid Crystals. Nahezu reibungslos
Konstruktion 3 (2013) IW 15-16; 367/2013

Krombholz, A.
Biofliesen
design report (2013) 43; 429/2013

Meier, R.; Pander, M.; Ebert, M.
Mikrostrukturoptimierung von Kupfer durch Wärmebehandlung für die Anwendung in der Photovoltaik
Metall: Fachzeitschrift für Metallurgie 66 (2012) 391-394; 410/2013

Naumann, V.; Turek, M.; Hagendorf, C.
PECVD- und ALD-Abscheidung und Charakterisierung von elektrischen Passivierungsschichten für die Photovoltaik
Jahresbericht 2011 des Interdisziplinären Zentrums für Materialwissenschaften IZM Halle (2012) 56-57; 860/2012

Preußner, J.; Weber, M.; Helm, D.; Eisenbart, M.; Pfeffer, K.; Klotz, U.E.
Modellierung der Ausscheidungskinetik und des mechanischen Verhaltens in einer Cu-Ni-Si-Legierung
Metall: Fachzeitschrift für Metallurgie 67 (2013) 517-520; 835/2013

Rinker, M.; Krueger, R.; Ratcliffe, J.
Analysis of an aircraft honeycomb sandwich panel with circular face sheet/core disbond subjected to ground-air pressurization
NASA Technical Report (2013) NF1676L-15569; 240/2013

Rinker, M.; Ratcliffe, J.G.; Adams, D.O.; Krueger, R.
Characterizing facesheet/core disbonding in honeycomb core sandwich structure
NASA Technical Report (2013) NF1676L-15992; 239/2013

Rist, T.; Gremmlspacher, M.; Kübler, R.; Krauß, M.
Bending large glass plates with a flexible mould
Glas International 36 (2013) 38-39; 214/2013

Sander, M.
Belastungstester für Solarmodule mit elektromagnetischen Linear-motoren
Konstruktion 4 (2013) 83-90; 303/2013

Schweizer, F.
Leichtbauteile rissfest fertigen
Konstruktion 10 (2012) IW 10; 783/2012

Siegele, D.; Baumgartner, J.; Varfolomeev, I.; Moroz, S.; Brand, M.; Bruder, Th.
Lebensdauerbewertung von Schweißverbindungen unter besonderer Berücksichtigung von Eigenspannungen
Schweißen und Schneiden 65 (2013) 128-135; 290/2013

Thormann, A.; Heilmann, A.
Nanoporöse Membranen. Nanoporöse Aluminiumoxidmembranen für Medizin und Biotechnologie
GIT Labor-Fachzeitschrift 1 (2013) 48-51; 103/2013

Tritschler, M.
Vorhersage der Rückfederung beim Umformen von nichtrostendem Edelstahl
 Wt Werkstatttechnik online 103 (2013) 794-795; 707/2013

Tritschler, M.; Butz, A.
Vorhersage der Rückfederung bei der Kaltumformung von Titanblechen
 Wt Werkstatttechnik online 10 (2012) 716-717; 173/2012

Wehrspohn, R.B.
Werkstoffsubstitution – Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie die Werkstoffexperten (oder das Fraunhofer IWM)
 Werkstoffe in der Fertigung 5 (2013) 4; 911/2013

BÜCHER, BUCHBEITRÄGE

Hohe, J.
Advanced simulation and optimization techniques for composites
 Structural Materials and Processes in Transportation
 Lehnhus, D.; Busse, M.; Herrmann, A.S.; Kayvantash, K. (Eds.)
 Wiley-VCH, Weinheim (2013) 447-461; 383/2013

Reichert, T.; Böhme, W.; Siegele, D.; Hug, M.; Schüler, J.
Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile unter stoßartigen Belastungen
 Stoßartige Belastung FKM 2012 Heft 315
 VDMA Verlag, Frankfurt a.M.
 (2012) 1-100; 841/2013

Scherge, M.
Microtribology
 Encyclopedia of Tribology
 Springer International Publishing AG, Cham, Schweiz
 (2013) 1-10; 836/2013

Altmann, F.; Beyersdorfer, J.; Schischka, J.; Krause, M.; Franz, G.; Kwakman, L.
Cross section analysis of Cu filled TSVs based on high throughput plasma-FIB milling
 in Proc. of 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2012; ASM International, Materials Park, OH, USA (2012) 39-43; 952/2012

Altmann, F.; Klengel, S.; Schischka, J.; Petzold, M.
Defect analysis using high throughput plasma FIB in packaging reliability investigations
 in Proc. of 63rd Electronic Components & Technology Conference ECTC 2013; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C., USA (2013) 1940-1945; 229/2013

Altmann, F.; Schmidt, C.; Beyersdorfer, J.; Simon-Najasek, M.; Große, C.; Schrank, F.; Kraft, J.
Enhanced failure analysis on open TSV interconnects
 in Proc. of 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2012; ASM International, Materials Park, OH, USA (2012) 55-60; 951/2012

Andrieux, F.; Sun, D.-Z.; Feucht, M.
Effect of stress state on the failure behavior of a dual phase steel
 in Proc. of 19th International Symposium on Plasticity and its Current Applications Plasticity '13; Khan, A.S. (Ed.); Elsevier München, Berlin (2013) digital; 215/2013

Beckmann, C.; Hohe, J.
Analysis of uncertainty effects in sandwich structures with disordered cores – probabilistic homogenization of core material
 in Proc. of 10th International Conference Sandwich Structures; Casrari, P. (Ed.); Université de Nantes, Frankreich (2012) 71-72; 716/2012

Beckmann, C.; Hohe, J.
Numerische Bestimmung von Materialunsicherheiten in Sandwichtragwerken mit ungeordneter Mikrostruktur im Schaumkern
 in Tagungsband 19. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; Wanner, A.; Weidemann, K.A. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2013) Code 040; 752/2013

Bercieux, D.; Mayrhofer, L.
Pseudo-spin filter in metallic single-walled carbon nanotubes
 in Proc. of 7th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems IEEE-NEMS 2012; Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, Washington D.C., USA (2013) 294-297; 182/2013

Bier, M.; Sommer, S.
Erweiterte Untersuchungen zur Ersatzmodellierung von mechanisch gefügten Verbindungen für die Crashesimulation
 in Tagungsband 11. LS-DYNA Forum 2012; DYNAmore GmbH, Stuttgart (2012) digital; 109/2013

Bier, M.; Sommer, S.
Simplified modeling of self-piercing riveted joints for crash simulation with a modified version of *CONSTRAINED_INTERPOLATION_SPOTWELD
 in Proc. of 9th European Users' Conference LS-DYNA; Arup, London, England (2013) digital; 451/2013

Bierwisch, C.; Moseler, M.
Numerical study of grain shape in granular lubrication
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 748/2013

Böhme, W.; Lienhard, J.; Memhard, D.
Charakterisierung und Modellierung von Stahl-Klebeverbindungen bei crashartiger Zug- und Scher-Belastung
 in Tagungsband Werkstoffprüfung 2012; Borsutzki, M.; Moninger, G. (Hrsg.); Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2012) 275-280; 719/2013

Böhme, W.; Reichert, T.; Mayer, U.
Assessment of dynamic fracture toughness values K(Jc) and reference temperatures T(0,x) determined for a german RPV steel at elevated loading rates according to ASTM E1921
 in Proc. of 22nd International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology SMiRT-22; Ostadan, F. (Ed.); (2013) online; 775/2013

- Böttge, B.; Naumann, F.; Klengel, R.; Klengel, S.; Petzold, M.
Packaging material issues in high temperature power electronics
 in Proc. of European Microelectronics and Packaging Conference EMPC 2013; IMAPS Versailles, Frankreich (2013) digital; 776/2013
- Brand, S.; Petzold, M.; Czurratis, P.; Reed, J.D.; Lueck, M.; Gregory, C.; Huffman, A.; Lennon, J.M.; Temple, D.S.
Acoustic inspection of high-density-interconnects for 3D-integration
 in Proc. of IEEE International Ultrasonics Symposium IUS 2011; Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE Washington D.C., USA (2011) 1076-1079; 242/2013
- Burget, S.; Sommer, S.
Characterization and modeling of fracture behavior of spot welded joints in hot-stamped ultra-high strength steels
 in Tagungsband 11. LS-DYNA Forum 2012; DYNAmore GmbH Stuttgart (2012) 10; 204/2013
- Burget, S.; Sommer, S.
Modeling of deformation and failure behavior of dissimilar resistance spot welded joints under shear, axial and combined loading conditions
 in Proc. of International Conference on Fracture ICF 13; Carpinteri, A. (Ed.); Politecnico di Torino, Italien (2013) 517-038; 206/2013
- Butz, A.; Gröbel, D.; Merklin, M.; Rösel, S.; Koch, A.
Praxisnahe Versagensbeschreibung in der Blechumformung – Vergleich zwischen dem mikromechanischen Schädigungsmodell nach Gurson-Tveergard-Needleman und dem Grenzformänderungsschaubild
 in Tagungsband Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. EFB, 33. Kolloquium Blechverarbeitung 2013; Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung, Druckteam GmbH Hannover (2013) 371-384; 323/2013
- Czurratis, P.; Hoffrogge, P.; Brand, S.; Altmann, F.; Petzold, M.
Failure analysis using scanning acoustic microscopy for diagnostics of electronic devices and 3D system integration technologies
 in Proc. of 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2012; ASM International, Materials Park, OH, USA (2012) 100-105; 954/2012
- de Pablos-Martin, A.; Patzig, C.; Höche, T.; Durán, A.; Pascual, M.J.
Spatial distribution of thulium in Tm³⁺-doped oxyfluoride glasses
 in Proc. of Microscopy Conference MC 2013; Rachel, R. (Ed.); Universität Regensburg (2013) 417-418; 520/2013
- Dienwiebel, M.; Feser, T.; Korres, S.
Seeing the third-body formation of metallic tribosystems by novel on-line tribometry
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 740/2013
- Dienwiebel, M.; Feser, T.; Stoyanov, P.
Tribochemical effects during running-in of metals and alloys
 in Book of Abstracts of 40th Leeds-Lyon Symposium on Tribology & Tribology Forum 2013; CCSD Centre pour la Communication Scientifique Directe, Villeurbanne, Frankreich (2013) 5/203; 742/2013
- Dietrich, S.; Sander, M.; Pander, M.; Ebert, M.
Interdependency of mechanical failure rate of encapsulated solar cells and module design parameters
 in Proc. of International Society for Optics and Photonics SPIE, Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems V, Vol. 8472; Dhere, N.G.; Wohlgemuth, J.H. (Eds.); SPIE, Bellingham, WA, USA (2012) 84720P 1-9; 277/2013
- Dold, C.; Amann, T.; Kailer, A.
Tribological properties of imidazolium-based ionic liquids and the influence of polarization
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 749/2013
- Fliegner, S.; Elmer, D.; Seifert, T.; Luke, M.
Multi-scale modeling of the viscoelastic properties of non-woven, thermoplastic composites
 in Proc. of International Conference on Composite Materials ICCM 19; Van Hoa, S.; Hubert, P. (Eds.); Canadian Association for Composite Structures and Materials, Montreal, CAN (2013) 4061; 202/2013
- Fliegner, S.; Luke, M.; Elmer, D.; Seifert, T.
Modellierung des Kriechverhaltens langfaserverstärkter Thermoplaste unter Berücksichtigung der prozessabhängigen Faserausrichtung
 in Tagungsband 19. Deutsche Gemeinschaft für Materialkunde DGM – Symposium: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; Wanner, A.; Weidenmann, K.A. (Hrsg.); Coventus GmbH Jena (2013) 1-6; 83/2013
- Gall, M.; Thielicke, B.
Lebensdauer flächiger, piezokeramischer Wandler im Sensor- und Aktoreinsatz
 in Tagungsband 19. Deutsche Gemeinschaft für Materialkunde DGM – Symposium: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; Wanner, A.; Weidemann, K.A. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2013) 645-653; 85/2013
- Gall, M.; Thielicke, B.
Lifetime of laminar piezoceramic modules under cyclic tensile loading
 in Tagungsband 4. Wissenschaftliches Symposium des SFB/TR 39 PT-PIESA: Leichtbau durch Funktionsintegration; CRC/Transregio 39, Hermsdorf (2013) 13-17; 129/2013
- Graff, A.; Simon-Najasek, M.; Altmann, F.; Dammann, M.
Aberration corrected TEM and Super-X STEM-EDXS characterization of high electron mobility transistor structures
 in Proc. of Microscopy Conference MC 2013; Rachel, R. (Ed.); Universität Regensburg (2013) 253-254; 786/2013
- Helm, D.; Baiker, M.; Bienger, P.
Experimental investigations and multiscale modeling of the microstructure evolution and the mechanical properties of a ferritic steel grade during the production process
 in Proc. of 11th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes NUMIFORM 2013, AIP Conf. Proc. 1532; AIP Publishing LLC, Melville, N.Y., USA (2013) 197-205; 560/2013
- Hohe, J.; Beckmann, C.
Prediction of the uncertainty in the response of foam core sandwich structures due to disordered microstructure of the material
 in Tagungsband Cellular Materials CELLMAT 2012; Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2012) digital; 728/2012
- Hohe, J.; Beckmann, C.
Prediction of the uncertainty in the response of lightweight structures consisting of solid foams
 in Proc. of 2nd World Congress on Integrated Computational Materials Engineering ICME; Li, M.; Campbell, C.; Thoruton, K.; Holm, E.; Gumbsch, P. (Eds.); John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA (2013) 237-242; 201/2013
- Hohe, J.; Beckmann, C.
Probabilistic homogenization of solid foams with application to sandwich structures
 in Proc. of 23rd International Congress Theoretical and Applied Mechanics; The Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics CSTAM, Beijing, China (2012) digital; 715/2012
- Hohe, J.; Paul, H.; Beckmann, C.
A numerical model for prediction of the uncertainties in long fibre reinforced thermoplastics
 in Book of Abstracts of 3rd International Conference of Material Modelling ICMM3; Dtuzewski, P.; Jurczak, G.; Young, T.D. (Eds.); Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Polska Akademia Nauk, Warschau, Polen (2013) 269; 412/2013
- Hohe, J.; Paul, H.; Beckmann, C.
Probabilistische Modellierung des Elastizitätsverhaltens langfaserverstärkter Thermoplaste
 in Tagungsband 19. Deutsche Gemeinschaft für Materialkunde DGM-Symposium: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; Wanner, A.; Weidemann, K.A. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2013) 237-242; 86/2013
- John, M.; Schlimper, R.; Schäuble, R.
Thermomechanisches Langzeitverhalten von CFK-Schaum-Sandwichstrukturen
 in Tagungsband 19. Deutsche Gemeinschaft für Materialkunde DGM-Symposium: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; Wanner, A.; Weidemann, K.A. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2013) 574-582; 664/2013

- Kaufmann, K.; Swatek, S.; Werner, M.; Hagendorf, C.
Characterization of laser structures in photovoltaic CIGS thin film systems
 in Proc. of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A. (Hrsg.); WIP München (2012) 2803-2804; 400/2013
- Kaule, F.; Koepge, R.; Schoenfelder, S.
Damage and breakage of silicon wafers during impact loading on the wafer edge
 in Proc. of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A. (Hrsg.); WIP München (2012) 1179-1184; 482/2013
- Khader, I.; Kürten, D.; Kailer, A.
Modeling of wear in silicon nitride in rolling-sliding contact
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 825/2013
- Klemenz, A.; Pastewka, L.; Caron, A.; Ganeshamurty, B.; Bennewitz, R.; Moseler, M.
Wear of supported graphene
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 739/2013
- Klengel, R.; Klengel, S.; Stephan, T.; Petzold, M.
Novel investigation of influencing factors for corrosive interface degradation in wire bond contacts
 in Proc. of European Microelectronics and Packaging Conference EMPC 2013; IMAPS Versailles, Frankreich (2013) digital; 777/2013
- Klengel, R.; Stephan, T.; Petzold, M.; Schindler, S.; Schneider, J.; Spira, K.
A proper alternative: ultra sonic bonding for thin film solar cell interconnections
 in Proc. of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Hrsg.); WIP München (2012) 2864-2867; 917/2012
- Koitzsch, M.; Lewke, D.; Kaule, F.; Oswald, M.; Schoenfelder, S.; Turek, M.; Büchel, A.; Zühlke, H.-U.
Thermal laser separation – damage-free and kerfless cutting of wafers and solar cells
 in Proc. of 6th International Workshop on Crystalline Silicon for Solar Cells CSSC 2012; Institut National de L'Energie Solaire, Le Bourget du Lac, Frankreich (2012) digital; 802/2012
- Kraft, T.; Schmidt, I.; Riedel, H.; Svoboda J.
Numerical simulation of organic binder decomposition during thermal debinding
 in Proc. of 18th Plansee Seminar 2013; Sigl, L.S.; Kestler, H.; Wagner, J. (Hrsg.); Plansee SE, Reutte, Österreich (2013) HM 14/1-6; 461/2013
- Krombholz, A.; Voigt, P.; Werner, P.; Wüstenhagen, S.
Biobased sandwich system for applications in architecture
 in Proc. of sustainable buildings construction products & technologies; Passer, A.; Höfler, K.; Maydl, P. (Hrsg.); Verlag der Technischen Universität Graz, Österreich (2013) 1463-1470; 833/2013
- Kuerten, D.; Winzer, N.; Kailer, A.; Pfeiffer, W.; Scherge, M.
In situ detection of hydrogen evolution during lubricated sliding contact
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 351/2013
- Kwakman, L.; Straw, M.; Coustillier, G.; Sents, M.; Beyersdorfer, J.; Schischka, J.; Naumann, F.; Altmann, F.
Sample preparation strategies for fast and effective failure analysis of 3D devices
 in Proc. of 39th International Symposium for Testing and Failure Analysis, ISTFA 2013; American Society for Metals ASM International Materials Park, OH, USA (2013) 17-26; 935/2013
- Kwapil, W.; Zuschlag, A.; Reis, I.; Schwirtlich, I.; Meyer, S.; Zierer, R.; Krain, R.
Influence of crucible and coating on the contamination of directionally solidified silicon: first results of the german research network SOLARWINS
 in Proc. of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Hrsg.); WIP München (2012) 627-635; 856/2012
- Lagger, H.G.; Bierwisch, C.; Moseler, M.
Effects of wall roughness on shear stress in a magnetorheological fluid shear cell
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 733/2013
- Li, X.; Schweizer, S.L.; Sprafke, A.; Wehrspohn, R.B.
Nanowires from »dyrty« multi-crystalline Si for hydrogen generation
 in Proc. of SPIE 8222 Solar Hydrogen and Nanotechnology VIII; Kanai, Y.; Prendergast, D. (Eds.); SPIE Bellingham WA, USA (2013) 88220U; 961/2013
- Li, X.; Sprafke, A.; Schweizer, S.; Wehrspohn, R.B.
Purifying metallurgical silicon to solar grade silicon by metal-assisted chemical etching
 in Proc. of Renewable Energy and the Environment Congress, Optics for Solar Energy OSE; OSA – The Optical Society, Washington, D.C., USA (2013) 000.2190; 959/2013
- März, B.; Graff, A.; Klengel, R.; Petzold, M.
Differences in intermetallic phase growth in thermally aged alloyed gold bond interconnections on aluminium
 in Proc. of Microscopy Conference MC 2013; Rachel, R. (Ed.); Universität Regensburg (2013) 674-675; 788/2013
- Maier, G.; Schlesinger, M.; Oesterlin, H.
Microstructure, deformation and lifetime of alloy 617B – experiences from different heat treatments and heats
 in Proc. of 39th MPA-Seminar: Plant Monitoring and Availability-Component Calculation and Materials Utilisation; Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (2013) Presentation 5; 867/2013
- Malta, D.; Gregory, C.; Lueck, M.; Lannon, J.; Lewis, J.; Temple, D.; DiFonzo, P.; Naumann, F.; Petzold, M.
Characterization and modeling of copper TSVs for silicon interposers
 in Proc. of 63rd Electronic Components & Technology Conference ECTC 2013; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C., USA (2013) 2235-2242; 241/2013
- Meißner, D.; Hurka, B.; Zeh, J.; Sunder, K.; Koepge, R.; Wagner, T.; Moeller, H.-J.; Schoenfelder, S.; Anspach, O.
Loss of wire tension in the wire web: towards stable cutting conditions for all wafers
 in Proc. of 6th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells, CSSC6; Institut National de L'Energie Solaire, Le Bourget du Lac, Frankreich (2012) digital; 853/2012
- Moras, G.; Pastewka, L.; Mulakaluri, N.; Gumbsch, P.; Moseler, M.
Atomistic simulations of tribochemical reactions at carbon surfaces
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 741/2013
- Naumann, F.; Bernasch, M.; Siegert, J.; Carniello, S.; Petzold, M.
Fracture mechanics life-time modeling of low temperature Si fusion bonded interfaces used for 3D MEMS device integration
 in Proc. of 63rd Electronic Components & Technology Conference ECTC 2013; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C., USA (2013) 390-396; 193/2013
- Neubrand, A.; Müller-Köhn, A.; Klemm, H.
Mechanische Eigenschaften von keramischen Verbundwerkstoffen auf Basis Polymermechanik
 in Tagungsband 19. Deutsche Gemeinschaft für Materialkunde DGM – Symposium: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; Wanner, A.; Weidemann, K.A. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2013) 281-289; 84/2013
- Nutto, C.; Bierwisch, C.; Lagger, H.; Moseler, M.
Particle-based simulations of abrasive flow machining
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 747/2013
- Oesterlin, H.; Maier, G.
Numerical assessment of power plant components by use of mechanism-based material models for deformation and lifetime
 in Proc. of 39th MPA-Seminar: Plant Monitoring and Availability-Component Calculation and Materials Utilisation; Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (2013) Presentation 6; 869/2013

- Oswald, M.; Loewenstein, T.; Schubert, G.; Schoenfelder, S.
Effect of metal-wrap-through holes and etching parameters on the strength of multicrystalline
 in Proc. of 6th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells, CSSC6; Institut National de L'Energie Solaire, Le Bourget du Lac, Frankreich (2012) digital; 823/2012
- Patzig, C.; Ikeno, H.; Hu, Y.; Tanaka, I.; Höche, T.
Coordination fingerprinting using EELS and XANES: experiments and ab initio multiplet calculations
 in Proc. of Microscopy Conference MC 2013; Rachel, R. (Ed.); Universität Regensburg (2013) 180-181; 787/2013
- Phommahaxay, A.; De Wolf, I.; Hoffrogge, P.; Brand, S.; Czurratis, P.; Philipsen, H.; Civalo, Y.; Vandersmissen, K.; Halder, S.; Beyer, G.; Swinnen, B.; Miller, A.; Beyne, E.
High frequency scanning acoustic microscopy applied to 3D integrated process: void detection in through silicon vias
 in Proc. of 63rd Electronic Components & Technology Conference ECTC 2013; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C., USA (2013) 227-231; 553/2013
- Poller, T.; Lutz, J.; Böttge, B.; Knoll, H.
Analysis of the plastic deformation in aluminium metallizations of Al₂O₃ – based DAB substrates
 in Proc. of 15th European Conference on Power Electronics and Applications EPE '13 ECCE Europe; EPE Association, Brüssel, Belgien (2013) digital; 779/2013
- Regazzi, D.; Varfolomeev, I.; Moroz, S.; Luke, M.; Beretta, S.
Experimentelle und rechnerische Untersuchungen des Riss-schließens in Standardproben
 in Tagungsband 45. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchvorgänge; Hübner, P. (Hrsg.); Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2013) 157-166; 205/2013
- Reichert, T.; Böhme, W.
Bruchmechanische Bewertung von stossartig beanspruchten Maschinenbauteilen mit überlagerten Modus II-Anteilen
 in Tagungsband 45. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchvorgänge; Hübner, P. (Hrsg.); Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2013) 101-110; 792/2013
- Richter, S.; Werner, M.; Swatek, S.; Maerz, B.; Hagendorf, C.
Trace elemental and structural analysis of different types of Si₃N₄ precipitates grown in block-cast multicrystalline solar silicon
 in Proc. of 21st Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes; National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, CO, USA (2011) 27-34; 851/2012
- Romero, P.A.; Järvi, T.; Beckmann, N.; Moseler, M.
Coarsened third body grains alleviate sliding between pure nanocrystalline surfaces
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 735/2013
- Sander, M.; Dietrich, S.; Pander, M.; Ebert, M.; Bagdahn, J.
Zuverlässigkeitsuntersuchungen für Solarzellen basierend auf Elektrolumineszenz-Rissfortschrittsanalysen an speziellen Prüfkörpern
 in Tagungsband 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie; Wichmann, P. (Hrsg.); Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V., Regensburg (2013) 190-191; 301/2013
- Sander, M.; Dietrich, S.; Pander, M.; Ebert, M.; Thormann, S.; Wendt, J.; Bagdahn, J.
Investigations on cracks in embedded solar cells after thermal and mechanical loading
 in Proc. of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Hrsg.); WIP München (2012) 3188-3193; 300/2013
- Schlesinger, M.; Schweizer, C.; Brontfeyn, Y.
Evaluation of time dependent thermomechanical fatigue crack growth in a nickel alloy for power plant applications
 in Proc. of 7th International Conference on Low Cycle Fatigue LCF7; Beck, T.; Charkaluk, E. (Eds.); Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2013) 153-158; 757/2013
- Schlimper, R.
Mechanical in situ testing of closed cell rigid polymer foams via computed tomography
 in Proc. of Cellular Materials CELLMAT 2012; Conventus GmbH, Jena (2012) digital; 480/2013
- Schlüter, B.; Kailer, A.; Mülhaupt, R.
Functionalized graphene: fabrication and tribological behavior in ester oil
 in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 731/2013
- Schmidt, C.; Altmann, F.; Mutinati, G.C.; Brunet, E.; Steinhauer, S.; Koeck, A.; Siegele, M.; Gamauf, C.; Nemecek, A.; Teva, J.; Kraft, J.; Siegert, J.; Schrank, F.; Kruschke, H.
Thermal investigations on CMOS integrated micro-hot-plates using IR thermography
 in Proc. of 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2012; American Society for Metals ASM International, Materials Park, OH, USA (2012) 592-595; 949/2012
- Schmidt, C.; Altmann, F.; Vallett, D.P.
Enhanced comparison of lock-in thermography and magnetic microscopy for 3D defect localization of system in packages
 in Proc. of 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2012; American Society for Metals ASM International, Materials Park, OH, USA (2012) 88-94; 950/2012
- Schmidt, I.; Rather, F.
Modellierung und Simulation
 in Tagungsband Workshop Energieeffizienz bei der Keramikerstellung ENITEC; Raether, F. (Ed.); VDMA, Frankfurt a.M. (2013) 74-83; 440/2013
- Schoenfelder, S.; Kaule, F.; Oswald, M.; Bagdahn, J.; Petzold, M.
Strength of thin silicon wafers with via holes
 in Proc. of 13th International Workshop on Thin Semiconductor Devices Forum be-flexible 2012; Fraunhofer EMFT München (2012) online; 837/2012
- Schumann, M.; Meyer, S.; Schmid, C.; Haas, F.; Riepe, S.; Cröll, A.
Impurity control of quartz crucible coatings for directional solidification of silicon
 in Proc. of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Hrsg.); WIP München (2012) 1049-1053; 855/2012
- Schweizer, C.; Schlesinger, M.
Isothermal and nonisothermal fatigue crack growth of nickelbase alloy MAR-M247 CC (HIP)
 in Proc. of 7th International Conference on Low Cycle Fatigue LCF7; Beck, T.; Charkaluk, E. (Eds.); Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2013) 147-152; 754/2013
- Schweizer, S.L.; Sprafke, A.N.; Wehrspohn, R.B.
3D photonic crystals for photon management in solar cells
 in Proc. of SPIE Volume 8808 Active Photonic Materials V; Subramania, G.S.; Foteinopoulou, S. (Eds.); SPIE Bellingham, WA, USA (2013) 880804; 962/2013
- Senn, M.; Link, N.; Gumbsch, P.
Optimal process control through feature-based state tracking along process chains
 in Proc. of 2nd World Congress on Integrated Computational Materials Engineering ICME; Li, M.; Campbell, C.; Thoruton, K.; Holm, E.; Gumbsch, P. (Eds.); John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, USA (2013) 69-74; 586/2013
- Siegele, D.; Varfolomeev, I.; Moroz, S.; Schlesinger, M.; Riedel, H.; Hettkamp, D.; Jost, A.-R.
Investigation on crack propagation behavior in welded waterwall tubes
 in Proc. of 39th MPA-Seminar: Plant Monitoring and Availability-Component Calculation and Materials Utilisation; Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (2013) Presentation 27; 865/2013
- Simon-Najasek, M.; Jatzkowski, J.; Große, C.; Altmann, F.
A new technique for non-invasive short-localisation in thin dielectric layers by electron beam absorbed current (EBAC) imaging
 in Proc. of 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2012; American Society for Metals ASM International, Materials Park, OH, USA (2012) 61-66; 943/2012

Sommer, S.; Burget, S.

Charakterisierung und Modellierung von Punktschweißverbindungen in pressgehärteten Bauteilen für die Crashesimulation
in Tagungsband 16. Kongress SimVEC: Berechnung, Simulation und Erprobung im Fahrzeugbau 2012, VDI-Berichte 2169; VDI Verlag GmbH, Düsseldorf (2012) 645-660; 608/2013

Studel, F.; Miclea, P.-T.; Teuscher, N.; Heilmann, A.; Schweizer, S.

Optical simulation of transparent conductive oxide (TCO) films on borate glasses

in Proc. of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Hrsg.); WIP München (2012) 467-470; 739/2012

Sun, D.-Z.; Ockewitz, A.

Testing and modeling of deformation and damage behavior of thick-walled aluminum profiles for crash simulation

in Proc. of International Congress on Light Materials – Science and Technology LightMAT 2013; Kainer, K.U.; Hirsch, J.; Leyens, C. (Eds.); Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2013) 113; 910/2013

Sun, D.-Z.; Ockewitz, A.; Falkinger, G.; Andrieux, F.

Characterization and modeling of the deformation and damage behavior of thick-walled aluminum profiles

in Proc. of 8th World Conference Aluminium Two Thousand; Interall Srl, Modena, Italien (2013) digital; 493/2013

Syha, M.; Bäurer, M.; Rheinheimer, W.; Ludwig, W.; Lauridsen, E.M.; Weygand, D.; Gumbsch, P.

Combining x-ray diffraction contrast tomography and mesoscale grain growth simulations in strontium titanate: an integrated approach for the investigation of microstructure evolution

in Proc. of 36th International Conference on Advanced Ceramics and Composites, ICACC 2012 - Developments in Strategic Materials and Computational Design III; Kriven, W.M.; Gyekenyesi, A.L.; Westin, G.; Wang, J.; Halbig, M.; Mathur, S. (Eds.); The American Ceramic Society, Westerville, OH, USA (2012) 127-137; 498/2013

Syha, M.; Rheinheimer, W.; Bäurer, M.; Lauridsen, E.M.; Ludwig, W.; Weygand, D.; Gumbsch, P.

Interface orientation distribution during grain growth in bulk SrTiO₃ measured by means of 3D x-ray diffraction contrast tomography

in Proc. of MRS Fall Meeting 2011, Vol. 1421; Materials Research Society (Ed.); Cambridge University Press Academic, Cambridge, UK (2012) online; 570/2013

Syha, M.; Reinheimer, W.; Loedermann, B.; Graff, A.; Trenkle, A.; Baeuer, M.; Weygand, D.; Ludwig, W.; Gumbsch, P.

Three dimensional x-ray diffraction contrast tomography reconstruction of polycrystalline strontium titanate during sintering and electron backscatter diffraction validation

in Proc. of 2nd World Congress on Integrated Computational Materials Engineering ICME; Li, M.; Campbell, C.; Thoruton, K.; Holm, E.; Gumbsch, P. (Eds.); John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, USA (2013) 259-264; 244/2013

Traupe, M.; Jenne, S.; Lütkepohl, K.; Varfolomeev, I.

Radsatzwellendimensionierung unter bruchmechanischen Aspekten

in Tagungsband 45. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchvorgänge; Hübner, P. (Hrsg.); Deutscher Verband für Materialforschung- und prüfung e.V., Berlin (2013) 263-272; 791/2013

Turek, M.; Möller, Ch.; Lauer, K.

Investigation of excess charge carrier lifetime measurements on samples of arbitrary thickness

in Proc. of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Hrsg.); WIP München (2012) 1045-1048; 839/2012

Unterhofer, K.; Preu, H.; Walter, J.; Lorenz, G.; Mack, W.; Petzold, M.

Thermo-mechanical material characterization of organic polymer films in advanced packages using nanoindentation

in Proc. of European Microelectronics and Packaging Conference EMPC 2013; IMAPS Versailles, Frankreich (2013) digital; 778/2013

Vogel, K.; Wuensch, D.; Uhlig, S.; Froemel, J.; Naumann, F.; Wiemer, M.; Gessner, T.

Influence of test speed on the bonding strength of glass frit bonded wafers

in Book of Abstracts of 11th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics; Transilvania University of Brasov (Ed.); Transilvania University Publishing House Brasov, Rumänien (2012) 100-101; 57/2013

von Hartrott, P.; Eckmann, S.; Cueva, A.; Müller, F.; Scholz, A.; Oechsner, M.

Rechenmodelle zur Lebensdauer vorhersage von Hochtemperaturbauteilen aus ferritischen Blechwerkstoffen

in Tagungsband FVV Frühjahrstagung 2013, Informationstagung Motoren/Turbomaschinen; Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V., Frankfurt a.M. (2013) Heft R562; 169/2013

von Lautz, J.; Pastewka, L.; Moseler, M.

A mesoscopic model for the wear in tetrahedral amorphous carbon under shear

in Proc. of 5th World Tribology Congress WTC 2013; Raparelli, T.; Gola, M. (Eds.); (2013) digital; 734/2013

Weise, J.; Baumeister, J.; Böhme, W.; Hohe, J.

Quasi-static and dynamic compression behavior of epoxy-aluminium hybrid foams

in Tagungsband Cellular Materials CELLMAT 2012; Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Frankfurt a.M. (2012) CD-ROM; 729/2012

Weise, J.; Baumeister, J.; Hohe, J.; Böhme, W.; Beckmann, C.

Epoxy aluminium hybrid foam – an innovative sandwich core material with improved energy absorption characteristics

in Proc. of 10th International Conference Sandwich Structures; Casrari, P. (Ed.); Université de Nantes, Frankreich (2012) 81-82; 719/2012

Impressum

Redaktion

Katharina Hien
Jasmine Ait-Djoudi
Thomas Götz

Gestaltung und Produktion

Erika Hellstab
Marianne Förderer

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut
für Werkstoffmechanik IWM
Öffentlichkeitsarbeit
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg
Telefon +49 761 5142-153
Fax +49 761 5142-510

info@iwmm.fraunhofer.de
www.iwmm.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten.
Bei Abdruck ist die Einwilligung
der Redaktion erforderlich.

Bildquellen

Seiten 3, 14, 15, 17, 23, 25, 33, 41, 47, 49, 57, 63, 71,
79: © S.K.U.B. Fotostudio
Seite 8: © Achim Käflein, Freiburg
Seite 10: © Ricarda Braun, Halle (Saale)
Seite 27 Abb. 2: © C. Felser et al., MPI CPFS Dresden
Seite 31 Abb. 1 unten: © HEGLA GmbH & Co. KG
Seite 39 Abb. 1 unten rechts: © LWF Paderborn
Seite 43 Header links: © EADS Deutschland GmbH,
Mitte: © BMW Group, rechts: © iStockphoto
Seite 59 Header: © Dr. Peter Maurer, Bochum, Abb. 1
Simulationsbild: © Prof. Wolf-Dietrich Knoll, Merseburg
Abb. 2: © Fraunhofer CSP, Torsten Pross,
Jürgen Jeibmann Photographik

Alle übrigen Abbildungen:
© Fraunhofer IWM

ISSN 1616-3591