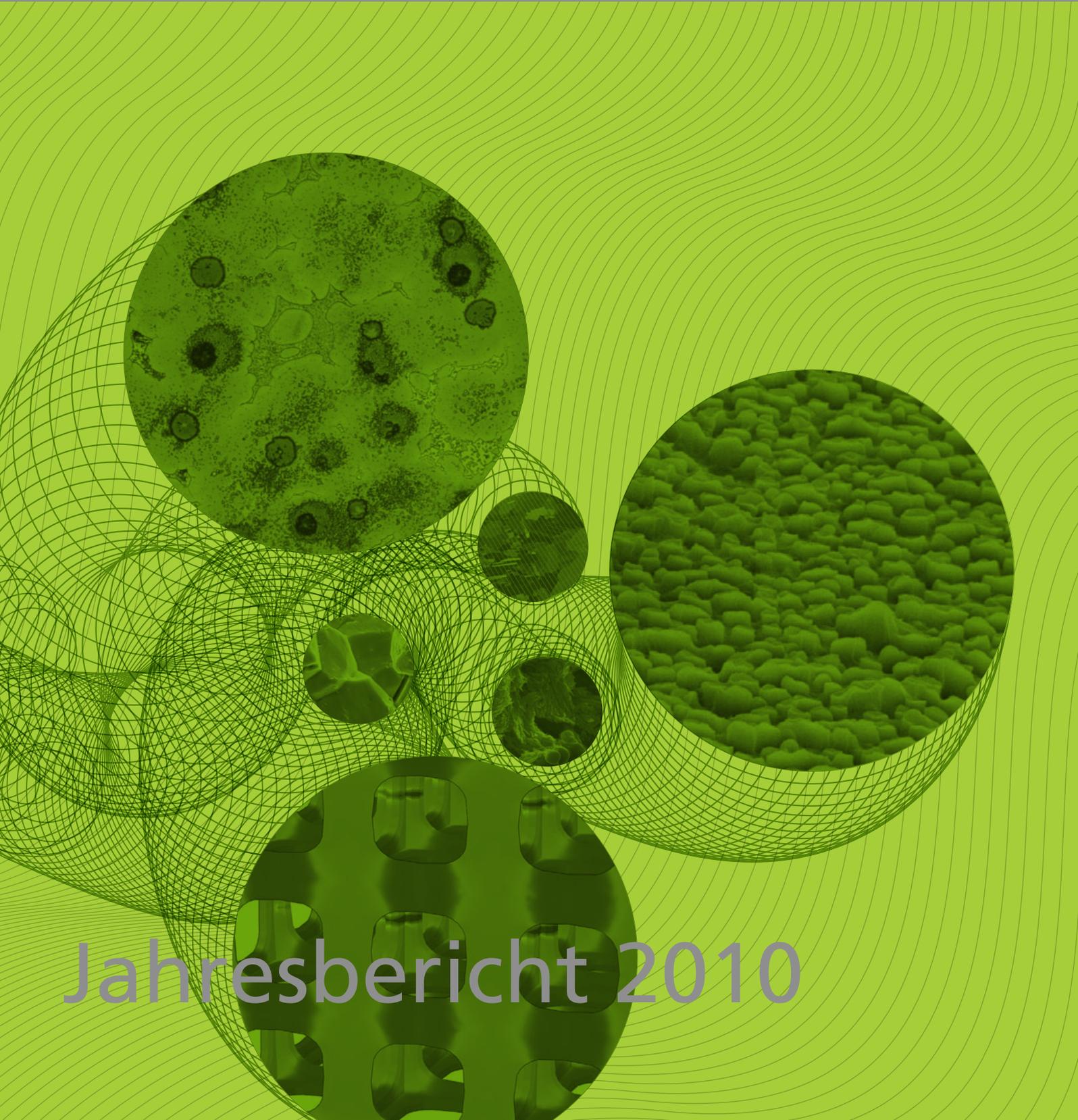




Fraunhofer

IWM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFFMECHANIK IWM



Jahresbericht 2010

Titelbild

Die Kompetenzen des Fraunhofer IWM werden ständig weiter entwickelt.

Die Kreise symbolisieren die drei Kernkompetenzen des Fraunhofer IWM:

- *Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung: Mikrostrukturuntersuchung am Grauguss mit Kugelgraphit Niresist, hochlegiert (links oben)*
- *Werkstoffmodellierung und Simulation: Simulation der Druckversuche an einer Trägerstruktur, die von biologischer Knochen-Spongiosa inspiriert wurde (links unten)*
- *Genzflächen- und Oberflächentechnologie: Nanostrukturierte Polypropylen-Oberfläche (rechts)*

Die vielen weiteren Themen, die das Fraunhofer IWM bearbeitet, sind ausschnittsweise durch die Strukturen in den drei kleineren Kreisen repräsentiert:

- *Zahnoberfläche mit Fluorid-Schicht (links)*
- *Solarzellenoberfläche (rechts oben)*
- *Bruchfläche, die durch Wasserstoffversprödung entstanden ist (rechts unten)*

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 mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,7 Milliarden Euro. Davon fallen 1,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten 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 an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung 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 2010

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFFMECHANIK IWM

Institutsteil Freiburg
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg

Telefon +49 761 5142-0
Telefax +49 761 5142-110

Institutsteil Halle
Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle

Telefon +49 345 5589-0
Telefax +49 345 5589-101

www.iwm.fraunhofer.de
info@iwm.fraunhofer.de



Das Fraunhofer IWM arbeitet nach einem Qualitätsmanagementsystem, das nach ISO 9001:2000 zertifiziert ist. (Zertifikat D07 / 2316 / 3361)

Sehr geehrte Geschäftspartnerinnen und Geschäftspartner,

2010 war ein Jahr voller Ereignisse und neuer Entwicklungen, die uns zuversichtlich in die Zukunft blicken lassen. Das Fraunhofer IWM ist trotz Wirtschaftskrise und der noch unsicheren Wirtschaftslage am Jahresanfang in 2010 leicht gewachsen. Die Akquisition von Industrieaufträgen gestaltete sich schwierig. Dennoch konnten die Industrieerträge insgesamt zunehmen, wenn auch sehr viel moderater als das Wachstum des Gesamtinstituts. Die werkstoffmechanischen Lösungen des Fraunhofer IWM werden mittlerweile von weit mehr als 400 Personen erarbeitet.

Im Mai haben wir das MikroTribologie Centrum μ TC in Karlsruhe eröffnet, wo mittlerweile langfristige Kooperationen mit Industriepartnern angelaufen sind. Im Mai 2011 werden wir unseren Erweiterungsbau in Freiburg einweihen und auch gleich in die Planung für den nächsten Bauabschnitt einsteigen. Mittlerweile nutzen wir in Freiburg auch unser neues Mehrzwecklabor zum Biegen und Fügen von Glas und für Trenntechniken. In Halle haben die Bauarbeiten für das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP begonnen. Das neue Gebäude soll 2012 zur Verfügung stehen. In Halle wurden außerdem die Vorbereitungen für den Aufbau zweier Transmissionselektronenmikroskope abgeschlossen. Die Geräte werden 2011 dazu beitragen, unsere Kompetenz im Bereich Mikrostrukturdiagnostik maßgeblich zu erweitern.

In den IWM-Geschäftsfeldern sind uns eine Reihe schöner Entwicklungen gelungen, die nicht nur unsere Marktposition, sondern auch unsere Kernkompetenzen stärken. So konnte ein neues Diagnostikverfahren (Electron Beam Induced Current EBIC) zur Identifikation von Fehlern in Halbleiterbauelementen etabliert werden. In der Umformtechnologie gelang die Bewertung von Bauteilen aus Dualphasenstählen auf Basis integraler Werkstoffmodellierung entlang der gesamten Prozesskette. Und im Bereich Glastechnologie wurde ein neues Fügeverfahren für Vakuumisolierverglas entwickelt. Dies sind nur drei Beispiele, die zeigen, wie fundiertes werkstoffmechanisches Verständnis in Verbindung mit Diagnostik, Prozesstechnologie oder Werkstoffentwicklung zu Innovation und Wertschöpfung führen. Weitere Beispiele finden Sie in den Fachbeiträgen aus unseren Geschäftsfeldern.

Wir freuen uns auf neue werkstoffmechanische Herausforderungen und wünschen eine anregende Lektüre.





*Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn,
Institutsleiter und Leiter Institutsteil Halle*

*Prof. Dr. Peter Gumbsch,
Institutsleiter und Sprecher der Institutsleitung*

INHALT

Institutsprofil

Mission des Fraunhofer IWM	6
Interessante Neuerungen und strategische Weiterentwicklungen	7
Herausragende Nachwuchspreise	8
Besondere Ereignisse	9
Organisation und Ansprechpartner	10
Das Institut in Zahlen	12
Kuratorium	13

Kernkompetenzen des Fraunhofer IWM

Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung	15
Werkstoffmodellierung und Simulation	16
Grenzflächen- und Oberflächentechnologie	17

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Tribologie	18
Reibarme, extrem steife Lagereinheit für Radnabenmotoren	20
Versagensinduzierte Geruchsdetektion von Kunststoffkompositen	22
Simulation neuartiger Separator- materialien für Lithium-Ionen-Batterien	24

Reibarme Beschichtung für Bodenbearbeitungsgeräte	26
Tribologie von AlSi-Legierungen in Verbrennungsmotoren	27
Fertigungstechnologie	28
Flexibles Flachglasbiegen	30
Bewertung von Formenmaterialien für Glasheißformgebungsprozesse	31
Dünnschicht-Temperatursensoren für die Kunststoffverarbeitung	32
Sintern dünner keramischer Schichten	33
Modellierung von Eisen auf atomarer Skala	34
Bauteilsicherheit	36
Ermüdung von warmfesten Aluminiumlegierungen im Griff	38
Probabilistische Fehlerbewertung von Rohrleitungen	40
Charakterisierung und Modellierung von Thermoplasten	41
Prozess- und Werkstoffbewertung	42
Effiziente Schweißsimulation großer Strukturen	44
Mehrskalige Prozesskettensimulation von Dualphasenstählen	46
Charakterisierung von laserumgeschmolzenen Stahloberflächen	48

3-D-Strukturanalyse und Modellierung von Verbundwerkstoffen	49
Polymeranwendungen	50
Design und Konstruktion mit Holz-Polymerwerkstoffen	52
CFK-Schaum-Sandwichstrukturen im thermomechanischen Härtetest	54
Superelastische Polymere als neue thermoplastische Elastomere	55
Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ	56
Untersuchungen zur Beständigkeit von WPC gegen Witterungseinflüsse	57
Biologische und makromolekulare Materialien	58
Polymerfolien für Dachkonstruktionen im biaxialen Zugversuch	60
Morphologische Charakterisierung von Abrasiva in Zahnpasten	62
Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik	64
FIB/EBIC-Charakterisierung von Halbleiterbauelementen	66
Hochauflösende Identifikation intermetallischer Phasen in mikroelektronischen Kontaktierungen	68
Ermüdungsverhalten von Drahtbondkontaktierungen	69

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP	70
Thermomechanische Bewertung von eingebetteten Solarzellen	72
Eigenspannung: Mikro-Raman-Spektroskopie an String-Ribbon-Wafern	74
Pilotlinie für das Wafering dünner Siliziumwafer	75

■ **Vernetzung und Kooperation**

Forschungsk Kooperationen	76
Gemeinschaftsforschung in der Fraunhofer-Gesellschaft	78
Fraunhofer-Innovationscluster	80
Kooperationen mit der Max-Planck-Gesellschaft	80

Anhang

Ausstattung	81
Personen, Ausbildung, Ereignisse	84
Mitarbeit in Gremien, Ausschüssen, Beratertätigkeiten	87
Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften	89
Sonstige Veröffentlichungen	92
Veröffentlichte Konferenzbeiträge	93
Impressum	97



Mission des Fraunhofer IWM

Steigende Anforderungen an Qualität, Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung bestimmen das Geschehen am Markt und in der industriellen Produktion. Dabei sind immer weniger Schwachstellen und Fehler in der Fertigung und im Einsatz von Bauteilen erlaubt.

Gleichzeitig werden Werkstoffe und Bauteile zunehmend an ihren Belastungsgrenzen eingesetzt, um Ressourcen effizient zu nutzen, leichtere Bauweisen zu ermöglichen und Energie einzusparen. Daher ist es wichtig, die Auswirkungen vielfältiger Belastungen und ihre Rückwirkung auf das funktionale Verhalten von Werkstoffen und Bauteilen praxisgerecht und präzise zu beschreiben sowie Reserven bei der Beanspruchbarkeit auszuschöpfen.

Das Fraunhofer IWM betreibt international vernetzt anwendungsorientierte Forschung. Das Institut charakterisiert, simuliert und bewertet das Verhalten von Werkstoffen in Bauteilen und Systemen während der Fertigung und im Einsatz mit dem Ziel, die Sicherheit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Funktionalität von technischen Bauteilen und Systemen zu verbessern. Damit leistet das Fraunhofer IWM wichtige Beiträge zur Wirtschaftlichkeit, Ressourcenschonung und zur Energieeffizienz und trägt somit zur Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Europas bei. In seinen Kernkompetenzen Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung, Werkstoffmodellierung und Simulation sowie Grenzflächen- und Oberflächentechnologie ist das Fraunhofer IWM führend.

Unsere Arbeitsweise

Wir identifizieren Schwachstellen und Fehler in Bauteilen und klären ihre physikalischen Ursachen auf, um sie bereits in der Designphase zu vermeiden beziehungsweise in ihren Auswirkungen zu beherrschen.

Wir verknüpfen die Mikrostruktur von Werkstoffen mit den Werkstoffeigenschaften und der Anisotropie, um ein besseres Werkstoffverständnis zu erhalten. Wir modellieren Werkstoffeigenschaften und berechnen diese via Multiskalensimulation.

Wir untersuchen, wie sich die Miniaturisierung von Bauelementen auf Funktionalität und Herstellbarkeit auswirkt. Dafür entwickeln wir die nötigen Testverfahren, Prüf- und Diagnose-techniken, Modellierungskonzepte und Simulationswerkzeuge.

Wir simulieren Eigenschaftsveränderungen im Werkstoff während der Fertigung und erarbeiten Vorschläge für eine verbesserte Prozessführung.

Wir sagen in experimentellen und virtuellen Prüflabors das Einsatzverhalten hergestellter Bauteile vorher und bestimmen, ausgehend vom Einsatzverhalten, »rückwärts« ein optimiertes Werkstoff- und Bauteildesign.

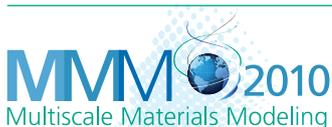
Wir entwickeln Beschichtungen, Beschichtungsprozesse und Bewertungsmethoden für die Oberflächen von Werkzeugen und Bauteilen.

Tribologie berechenbar machen



Am 11. und 12. Mai 2010 wurde das MikroTribologie Centrum μ TC im Kongresszentrum Karlsruhe feierlich eröffnet. Zu dem Fest- und Fachsymposium trafen sich rund 200 Interessenten aus Industrie und Wissenschaft. Das μ TC ist eine gemeinsame Initiative des Fraunhofer IWM und des Instituts für Zuverlässigkeit von Bauteilen und Systemen izbs des Karlsruher Instituts für Technologie KIT. Es vereinigt die tribologischen Aktivitäten beider Institute. Das μ TC kombiniert industrienaher Forschung, Grundlagenwissenschaften und Lehre.

5. Internationale Konferenz Multiskalen Materialmodellierung MMM2010



Von 4. bis 8. Oktober 2010 trafen sich 400 Expertinnen und Experten aus aller Welt in der Universität Freiburg, um neueste Ergebnisse auf dem Gebiet der Multiskalen Materialmodellierung zu präsentieren und zu diskutieren. Nach 2006 organisierte das Fraunhofer IWM bereits zum zweiten Mal das weltgrößte Forum zum Austausch neuester Entwicklungen auf dem Gebiet der computergestützten Materialforschung. Die Multiskale Materialmodellierung befasst sich mit der Entwicklung von Modellen und Methoden, um Struktur und Eigenschaften von Materialien auf allen Größen- und Zeitskalen zu verstehen. Dabei sind Mechanismen auf der elektronischen und atomaren Skala ebenso relevant wie der mikrostrukturelle Aufbau der Materialien und deren Eigenschaften auf kontinuumsmechanischer Ebene. Die MMM2012 findet von 15. bis 19. Oktober 2012 in Singapur statt.

Neuer Schwerpunkt im Geschäftsfeld Polymeranwendungen

Seit April 2010 ist Professor Dr. Roland Weidisch neuer Geschäftsfeldleiter »Polymeranwendungen« am Fraunhofer IWM in Halle in Personalunion mit dem Lehrstuhl für Mikro- und Nanostrukturierte Polymerwerkstoffe an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Damit hat sich in Halle ein neuer Schwerpunkt etabliert: Die superelastischen Polymere, die Weidisch und sein Team am Fraunhofer IWM entwickeln, sind so elastisch, dass sie sich bis weit über das Zehnfache ihrer ursprünglichen Größe ausdehnen lassen. Für hochelastische Membranen der Medizintechnik sind diese Kunststoffe ebenso geeignet wie für den Einsatz im Fahrzeugbau oder in der Akustik. Der Schwerpunkt der Gruppe ist die Weiterentwicklung von thermoplastisch verarbeitbaren superelastischen Polymeren, nanostrukturierten Copolymeren sowie mit nanoskaligen Füllstoffen modifizierten Polymersystemen. Der Fokus liegt dabei auf der Untersuchung und Optimierung der Zusammenhänge zwischen molekularer Struktur, Morphologie und mechanischen Eigenschaften polymerer Materialien.

Neue Antriebssysteme NAS

Die neue Fraunhofer-Projektgruppe »Neue Antriebssysteme NAS« bündelt Kompetenzen in den Bereichen Verbrennungsmotor, chemische Energiespeicher und Tribologie. Die Fraunhofer-Institute für Chemische Technologien ICT und Werkstoffmechanik IWM arbeiten dabei gemeinsam mit dem Institut für Kolbenmaschinen IFKM des Karlsruher Instituts für Technologie KIT an neuen Motorenkonzepten: zum einen für die dezentrale stationäre Energieversorgung wie beim Mini-Blockheizkraftwerk, zum anderen für nachhaltige Mobilität, entweder in Kombination mit einem Elektromotor als Range-Extender oder als alleinige Antriebsquelle.

HERAUSRAGENDE NACHWUCHSPREISE

weitere Preise im Anhang

Von links: Dr. Lorenz Sigl von der Plansee Group, Preisträger Dr. Christian Dresbach, die Nominierten Dr. Aruna Prakash und Dr. Stephan Schönfelder, Institutsleiter Prof. Dr. Peter Gumbsch und der Vorsitzende des Kuratoriums Prof. Dr. Rudolf Stauber.



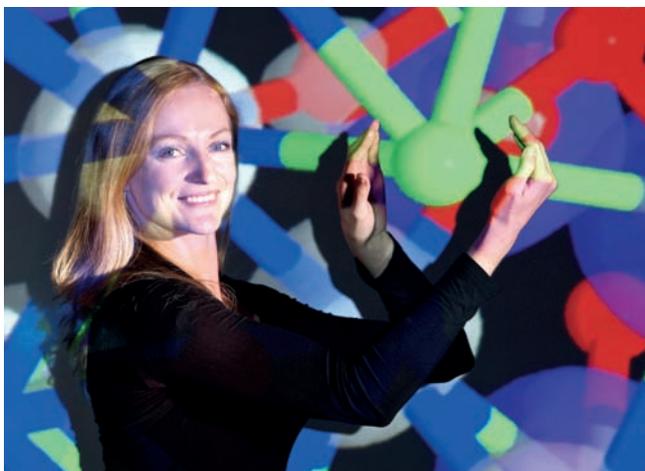
Werkstoffmechanikpreis 2010

Dr. Christian Dresbach hat den mit 1 500 Euro dotierten Werkstoffmechanikpreis 2010 erhalten, der jährlich auf der Kuratoriumssitzung des Fraunhofer IWM verliehen wird. Ebenfalls nominiert und mit einer Anerkennung ausgezeichnet wurden Dr. Aruna Prakash und Dr. Stephan Schönfelder. Der Preis wird gestiftet von der Plansee Group Reutte in Österreich und ehrt hervorragende wissenschaftliche Diplom- und Doktorarbeiten auf dem Gebiet der Werkstoffmechanik. Der Gewinner hat die Jury mit seiner Doktorarbeit »Ermittlung lokaler mechanischer Kennwerte mikroelektronischer Drahtkontaktierungen« überzeugt, die er im Januar mit »summa cum laude« an der

Universität Halle-Wittenberg abgeschlossen hatte. Der 30-Jährige untersuchte die mechanischen Eigenschaften und die Mikrostruktur von Drahtmaterialien der Mikroelektronik und Leistungselektronik mit Durchmessern zwischen 18 und 500 µm. In seiner Arbeit gelang es ihm, wichtige und bisher unbekannte Zusammenhänge zwischen dem mikrostrukturellen Aufbau und den daraus resultierenden Verformungs- und Festigkeitseigenschaften der extrem dünnen Drahtmaterialien aufzuklären. Auf dieser Grundlage stehen Materialherstellern neue Möglichkeiten für gezielte Werkstoffentwicklungen zur Verfügung.

Klaus-Tschira-Preis »KlarText!« in Physik

Die Erkenntnisse ihrer Doktorarbeit hat Dr. Janina Zimmermann so eindrucksvoll in einem gut verständlichen Text dargestellt, dass sie dafür den mit 5 000 Euro dotierten Klaus-Tschira-Preis für verständliche Wissenschaft im Fach Physik erhalten hat.



Dr. Janina Zimmermann entwickelte atomistische ab-initio-Simulationen für Metalle und Legierungen. Foto: Thomas Klink, mit freundlicher Genehmigung der Klaus-Tschira-Stiftung.

Die Inhalte ihrer Dissertation »Atomistische Modellierung der Oberflächenoxidation von Titanitrid und Cobalt-Chrom-Legierungen« hat die 29-Jährige in ihrem Text mit dem Titel »Atome auf dem Bazar« übersetzt. Sie erklärt anschaulich, dass sich Metalle in Kontakt mit Sauerstoff innerhalb von Sekundenbruchteilen eine Oxid-Schicht zulegen, die im Falle von Implantaten Abwehrreaktionen im Körper auslösen oder verhindern können. Um diese zu verstehen, hat sie neuartige »Picosekunden-Kurzfilme« des Oxidationsgeschehens berechnet. Die atomare Dynamik der chemischen Reaktionen vergleicht sie mit einem belebten Bazar. Ist der Bazar beendet, sind die Cobalt-Chrom-Legierungen, die häufig bei Implantaten zur Anwendung kommen, mit einer stabilen Oxidschicht überzogen, ohne dass zuvor giftige Chromat-Ionen in den Körper gelangt sind. Mit dieser neuen Methode ist es nun möglich, die atomare Oxidstruktur neuer Biomaterialien zu untersuchen und somit Vorhersagen zu treffen, noch bevor das Material in einen Körper eingepflanzt wird. Im Januar 2011 erhielt die Physikerin zudem den mit 1 000 Euro dotierten Bremer Studienpreis für ihre Dissertation.

Festkolloquium für Prof. Dr. Hermann Riedel

Mit 270 Gästen feierte das Fraunhofer IWM am 20. und 21. Januar 2010 den 65. Geburtstag des international anerkannten Experten für Werkstoffmodellierung und Simulation, Prof. Dr. Hermann Riedel. Hermann Riedel arbeitete seit 1986 am Fraunhofer IWM und war Mitglied der Institutsleitung. Mit seiner Expertise hat er das Profil des Instituts maßgeblich geprägt: physikalische Vorgänge in Werkstoffen grundlegend zu entschlüsseln und diese Erkenntnisse nutzbringend zur Entwicklung und Verbesserung von Bauteilen und Verfahren in der Industrie anzuwenden. Er baute mehrere Forschungsgruppen auf, beispielsweise zur Simulation und Modellierung in der Pulvertechnologie, der Formgebung von Metallen und dem Verhalten von Bauteilen bei hohen Temperaturen. Der Physiker war 1991 der erste Fraunhofer-Forscher, der den renommierten Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG erhielt. Nebenbei war er damals auch der erste Wissenschaftler ohne Professorentitel, der diese besondere Auszeichnung in Händen hielt.

Heinz-Bethge-Kolloquium

Mit einem Festkolloquium am 15. und 16. November 2010 hat das Fraunhofer IWM in Halle zusammen mit der Martin-Luther-Universität und dem Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik gleich zwei Jubiläen gefeiert: 50 Jahre Elektronenmikroskopie in Halle und das Gedenken an den 90. Geburtstag Heinz Bethges.

Seit der Gründung der »Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie« 1960, des späteren Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften der DDR, ist in Halle an der Saale die elektronen- und ionenstrahlbasierte Mikrostrukturdiagnostik ein wichtiger Forschungsschwerpunkt. Untrennbar verbunden ist die Elektronenmikroskopie mit Heinz Bethge (1919–2001). Er war von 1960 bis

1984 Direktor des Akademieinstituts, inspirierte immer wieder mit seinen Ideen und erlangte international hohe Anerkennung. Die Außenstelle des Fraunhofer IWM in Halle ist 1992 aus dem Akademieinstitut ausgegründet worden.

Wissenschaftspreis des Stifterverbandes

Der mit 50 000 Euro dotierte Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2010 ging an ein Forschungsprojekt, in dem das Fraunhofer IWM gemeinsam mit drei anderen Fraunhofer-Instituten und Partnern aus der Industrie kooperierte.



*Dr. Thomas Hollstein (links) und Dipl.-Phys. Bernhard Blug leisteten wichtige Beiträge zur Entwicklung von diamantbeschichteter Keramik.
Foto: © Dirk Mahler*

Das Projekt kombinierte robuste Keramik mit dem härtesten Material der Welt, Diamant, zu DiaCer®. Die diamantbeschichtete Keramik wird mittlerweile erfolgreich eingesetzt, beispielsweise in Pumpen oder bei Umformwerkzeugen. Sie bietet dort, wo Bauteile und Werkzeuge stark beansprucht werden, hohen Verschleißschutz bei niedriger Reibung.

Das Fraunhofer IWM beteiligte sich mit Computer-Simulationen und entwickelte Prüfkonzepte, mit deren Hilfe man einfach und schnell Fehler in der Keramikoberfläche nach der Bearbeitung aufspüren kann. Mit tribologischen Tests und mechanischer Charakterisierung bewerteten die IWM-Wissenschaftler Materialpaarungen für langlebige Gleitringdichtungen.

ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER

Institutsleiter und Sprecher der Institutsleitung
 Prof. Dr. Peter Gumbsch
 +49 761 5142-100
 peter.gumbsch@iwf.fraunhofer.de

Institutsleiter und Leiter Institutsteil Halle
 Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn
 +49 345 5589-100
 ralf.wehrspohn@iwf.fraunhofer.de

Leiter Institutsteil Freiburg
 Dr. Thomas Hollstein
 +49 761 5142-121
 thomas.hollstein@iwf.fraunhofer.de

Stellvertretender Leiter Institutsteil Halle
 Prof. Dr. Matthias Petzold
 +49 345 5589-130
 matthias.petzold@iwf.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELDER

GRUPPEN

Tribologie Dr. Thomas Hollstein +49 761 5142-121 thomas.hollstein@iwf.fraunhofer.de	Verschleißschutz, Technische Keramik Dr. Andreas Kailer +49 761 5142-247 andreas.kailer@iwf.fraunhofer.de	Biomedizinische Materialien und Implantate Dr. Raimund Jaeger +49 761 5142-284 raimund.jaeger@iwf.fraunhofer.de
Fertigungstechnologie Dr. Günter Kleer +49 761 5142-138 guenter.kleer@iwf.fraunhofer.de	Bearbeitungs- und Trennverfahren Dr. Rainer Kübler +49 761 5142-213 rainer.kuebler@iwf.fraunhofer.de	Heißformgebung Glas Dr. Peter Manns +49 761 5142-135 peter.manns@iwf.fraunhofer.de
Bauteilsicherheit Dr. Dieter Siegele +49 761 5142-116 dieter.siegele@iwf.fraunhofer.de	Anlagensicherheit, Bruchmechanik Dr. Dieter Siegele +49 761 5142-116 dieter.siegele@iwf.fraunhofer.de	Crashsicherheit, Schädigungsmechanik Dr. Dong-Zhi Sun +49 761 5142-193 dong-zhi.sun@iwf.fraunhofer.de
Prozess- und Werkstoffbewertung Dr. Wulf Pfeiffer +49 761 5142-166 wulf.pfeiffer@iwf.fraunhofer.de	Mikrostruktur- und Schadensanalyse Dr. Wulf Pfeiffer (komm.) +49 761 5142-166 wulf.pfeiffer@iwf.fraunhofer.de	Ermüdungsverhalten, Eigenspannungen Dr. Michael Luke +49 761 5142-338 michael.luke@iwf.fraunhofer.de
Polymeranwendungen Prof. Dr. Roland Weidisch +49 345 5589-430 roland.weidisch@iwf.fraunhofer.de	Naturstoffkomposite Andreas Krombholz +49 345 5589-153 andreas.krombholz@iwf.fraunhofer.de	Polymerbasierte Hochleistungsverbundwerkstoffe Dr. Ralf Schäuble +49 345 5589-151 ralf.schaeuble@iwf.fraunhofer.de
Biologische und makromolekulare Materialien Prof. Dr. Andreas Heilmann +49 345 5589-180 andreas.heilmann@iwf.fraunhofer.de	Polymerfolien und Polymergrenzflächen Prof. Dr. Andreas Heilmann +49 345 5589-180 andreas.heilmann@iwf.fraunhofer.de	Biologische und biokompatible Materialien Dr. Andreas Kiesow +49 345 5589-118 andreas.kiesow@iwf.fraunhofer.de
Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik Prof. Dr. Matthias Petzold +49 345 5589-130 matthias.petzold@iwf.fraunhofer.de	Bewertung mikroelektronischer Systemintegration Prof. Dr. Matthias Petzold +49 345 5589-130 matthias.petzold@iwf.fraunhofer.de	Charakterisierung Mikrosysteme Prof. Dr. Matthias Petzold (komm.) +49 345 5589-130 matthias.petzold@iwf.fraunhofer.de

Verwaltung

Wolfgang Thielicke
+49 761 5142-111
wolfgang.thielicke@iwm.fraunhofer.de

Thomas Merkel
+49 345 5589-420
thomas.merkel@iwmh.fraunhofer.de

Qualitätsmanagement

Elke Schubert
+49 761 5142-267
elke.schubert@iwm.fraunhofer.de

Personal

Kerstin A. Drüsedau
+49 761 5142-140
kerstin.druesedau@iwm.fraunhofer.de

Öffentlichkeitsarbeit

Thomas Götz
+49 761 5142-153
thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de

Jasmine Ait-Djoudi
+49 345 5589-213
jasmine.ait-djoudi@iwmh.fraunhofer.de

Tribologische Schichtsysteme

Dr. Sven Meier
+49 761 5142-233
sven.meier@iwm.fraunhofer.de

Mikrotribologie

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

Multiskalenmodellierung und Tribosimulation

Prof. Dr. Michael Moseler
+49 761 5142-332
michael.moseler@iwm.fraunhofer.de

Funktionale Schichtsysteme

Dr. Frank Burmeister
+49 761 5142-244
frank.burmeister@iwm.fraunhofer.de

Pulvertechnologie

Dr. Torsten Kraft
+49 761 5142-248
torsten.kraft@iwm.fraunhofer.de

Physikalische Werkstoffmodellierung

Prof. Dr. Christian Elsässer
+49 761 5142-286
christian.elsaesser@iwm.fraunhofer.de

Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik

Dr. Thomas Seifert
+49 761 5142-170
thomas.seifert@iwm.fraunhofer.de

Verbundwerkstoffe

Dr. Bärbel Thielicke
+49 761 5142-192
baerbel.thielicke@iwm.fraunhofer.de

Formgebungs- und Umformprozesse

Dr. Dirk Helm
+49 761 5142-158
dirk.helm@iwm.fraunhofer.de

Polymerbasiertes Materialdesign

Prof. Dr. Roland Weidisch
+49 345 5589-430
roland.weidisch@iwmh.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-FORSCHUNGSZENTREN

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP

Prof. Dr. Jörg Bagdahn / Dr. Andreas Bett

Abteilung Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität

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

Gruppe

Diagnostik Solarzellen

Dr. Christian Hagendorf
+49 345 5589-179
christian.hagendorf@
csp.fraunhofer.de

Gruppe

Solarmodule

Dr. Matthias Ebert
+49 345 5589-117
matthias.ebert@
csp.fraunhofer.de

Gruppe

Siliziumwafer

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

Abteilung Labor für Kristallisationstechnologien

Dr. Andreas Bett, +49 761 4588-5257, andreas.bett@ise.fraunhofer.de

Diagnostik Halbleitertechnologien

Frank Altmann
+49 345 5589-139
frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de

Fraunhofer Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ

Prof. Dr. Michael Bartke, +49 3461 2598-120, michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Gruppe

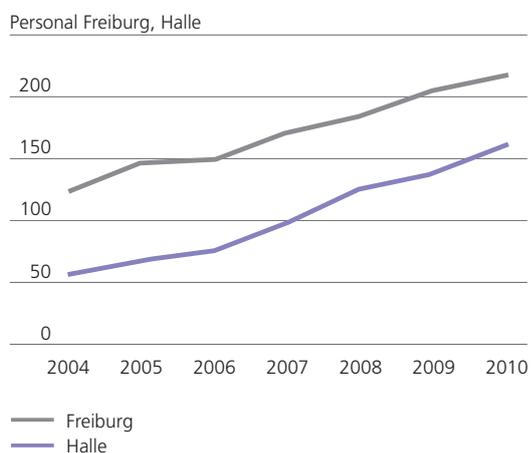
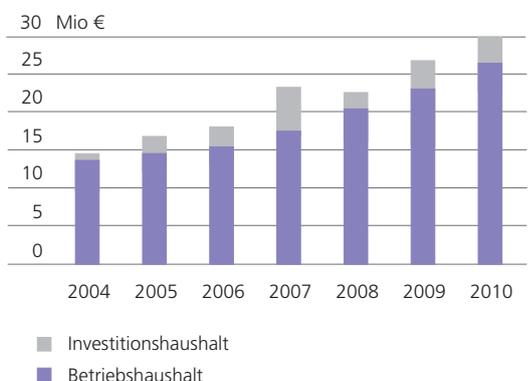
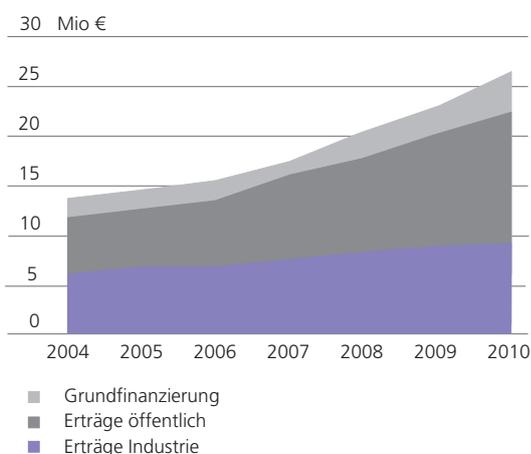
Polymerverarbeitung

Dr. Michael Busch
+49 345 5589-111
michael.busch@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe

Polymersynthese

Dr. Ulrich Wendler
+49 3461 2598-210
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de



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

Im Betriebshaushalt sind alle Personal- und Sachaufwendungen enthalten. Diese werden finanziert durch externe Erträge und institutionelle Förderung (Grundfinanzierung).

Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IWM ist weiter gewachsen und beläuft sich auf 26,4 Millionen Euro (Hochrechnung November 2010). Davon entfallen 14,8 Millionen Euro auf den Institutsteil Freiburg und 11,6 Millionen Euro auf den Institutsteil Halle.

Der Investitionshaushalt 2010 umfasst strategische, Normal- und Projektinvestitionen und betrug 3,4 Millionen Euro. Für die Neubauinvestitionen des Fraunhofer CSP in Schkopau und Halle kamen rund 8,3 Millionen Euro hinzu (nicht in der Grafik enthalten).

Der Anteil der Industrieerträge zur Finanzierung des Betriebshaushaltes liegt bei 38,5 Prozent.

Ende 2010 waren am Fraunhofer IWM insgesamt 467 Personen beschäftigt. Die Zahl schließt die 89 wissenschaftlichen Hilfskräfte, Diplomandinnen und Diplomanden sowie Praktikantinnen und Praktikanten ein. Die Kernbelegschaft besteht aus 378 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, davon 218 in Freiburg und 160 in Halle. Sie setzt sich zusammen aus 191 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, 106 Ingenieurinnen, Ingenieuren und technischen Beschäftigten sowie 81 Angestellten im Bereich Sekretariat und Infrastruktur.

Stand: November 2010

KURATORIUM

Von links nach rechts: Dr.-Ing. Robert Ruprecht, Dr. Thomas Hollstein, Dr. Florian Holzapfel, Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn, Dr. Roland Langfeld, Dr. Matthias Müller, Prof. Dr. Peter Gumbsch, Dr. Lorenz Sigl, Prof. Dr. Rudolf Stauber, Prof. Dr. Christina Berger, Peter Putsch, Prof. Dr. Alfred Gossner (Finanzvorstand der Fraunhofer-Gesellschaft), Prof. Dr. Detlef Löhe, Jens Wemhöner, Dr. Christoph Mühlhaus, MinRat Dr. Joachim Wekerle.



Dem Kuratorium gehören Persönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft an, die dem Fraunhofer IWM fachlich nahestehen. 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.

Prof. Dr. Rudolf Stauber
(Vorsitzender)
Zentralinstitut für Neue Materialien und Prozesstechnik ZMP, Fürth

Prof. Dr. Christina Berger
Technische Universität Darmstadt

Dr. Karlheinz Bourdon
KraussMaffei Technologies GmbH, München

Siegfried Glaser
Glaser FMB GmbH & Co. KG, Beverungen

Dr. Valentin Gramlich
Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg

MinDirig. Hans-Joachim Hennings
Ministerium für Wirtschaft und Arbeit des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg

Dr. Florian Holzapfel
Calyxo GmbH, Bitterfeld-Wolfen

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

Dr. Matthias Müller
Robert Bosch GmbH, Gerlingen

Peter Putsch
Putsch Kunststoffe GmbH, Nürnberg

Dr. Robert Ruprecht
Projekträger PTKA, am Karlsruher Institut für Technologie KIT

Dr. Alexander Sagel
KS Kolbenschmidt GmbH, Neckarsulm

Dr. Lorenz Sigl
Plansee Group Reutte (Österreich)

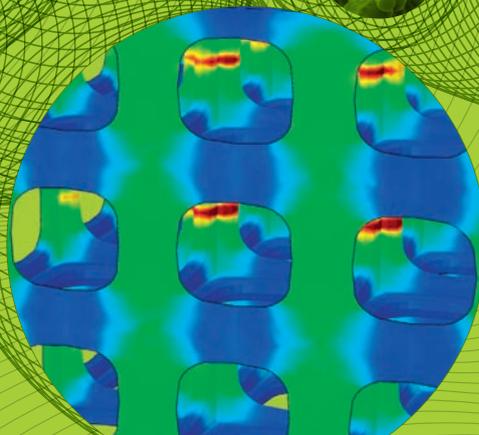
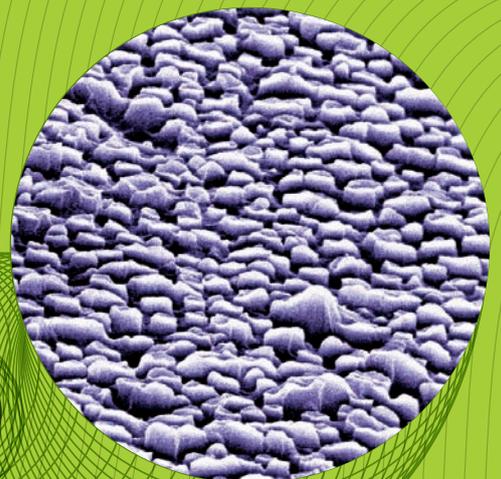
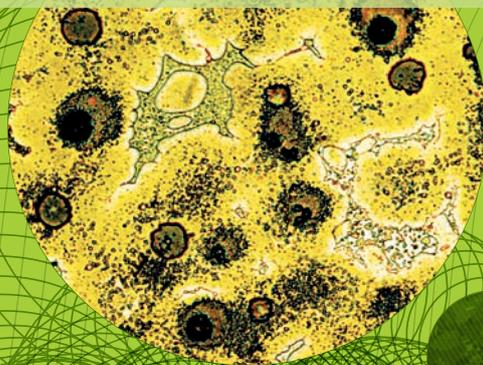
MinRat Dr. Joachim Wekerle
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

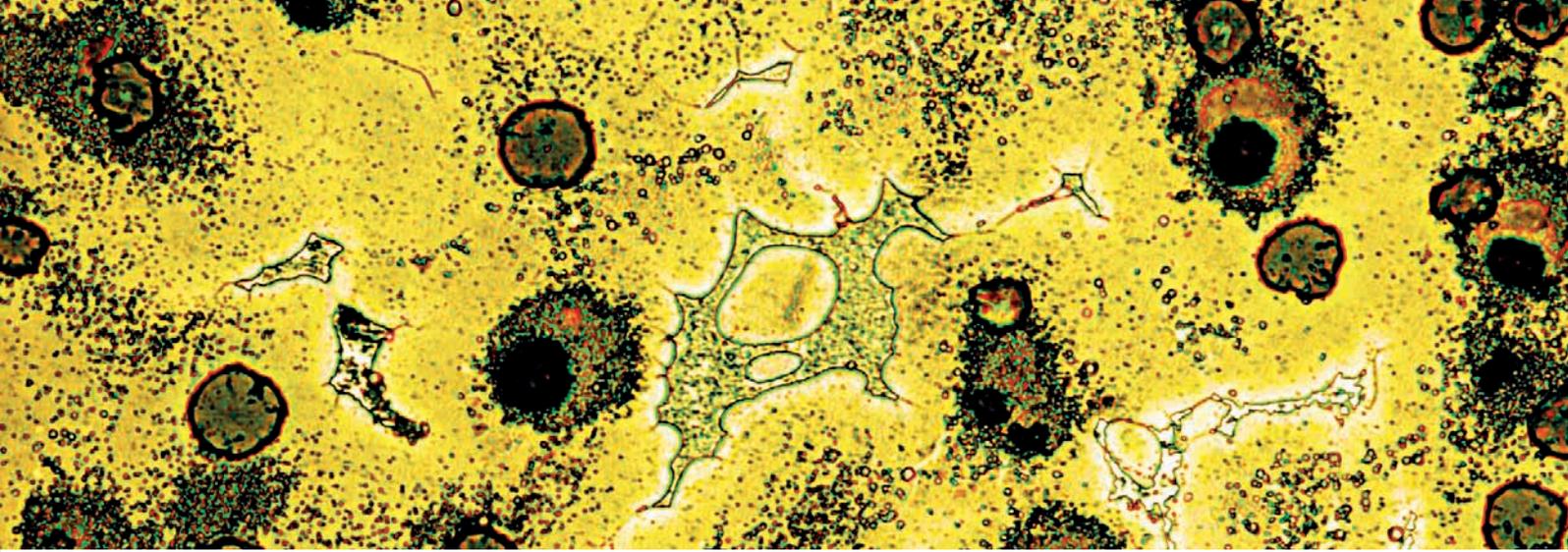
Jens Wemhöner
Cerobear GmbH, Herzogenrath

KERNKOMPETENZEN

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer IWM werden fachgebietsübergreifend und für verschiedene Werkstoffe eingesetzt, um

- Schwachstellen und Fehler in Bauteilen aufzufinden, ihre Ursache aufzuklären, sie zu vermeiden beziehungsweise in ihren Auswirkungen zu beherrschen,
- die dafür benötigten Testverfahren, Prüf- und Diagnosetechniken, Modellierungskonzepte und Simulationswerkzeuge zu entwickeln,
- Bauteile und Fertigungsprozesse zu bewerten, zu simulieren und zu verbessern,
- die Eigenschaften der Werkstoffe und Bauteile für die im Einsatz auftretenden Belastungen optimal einzustellen und die Leistungsfähigkeit der Werkstoffe möglichst vollständig auszuschöpfen.





Kernkompetenz

WERKSTOFF- UND BAUTEILCHARAKTERISIERUNG

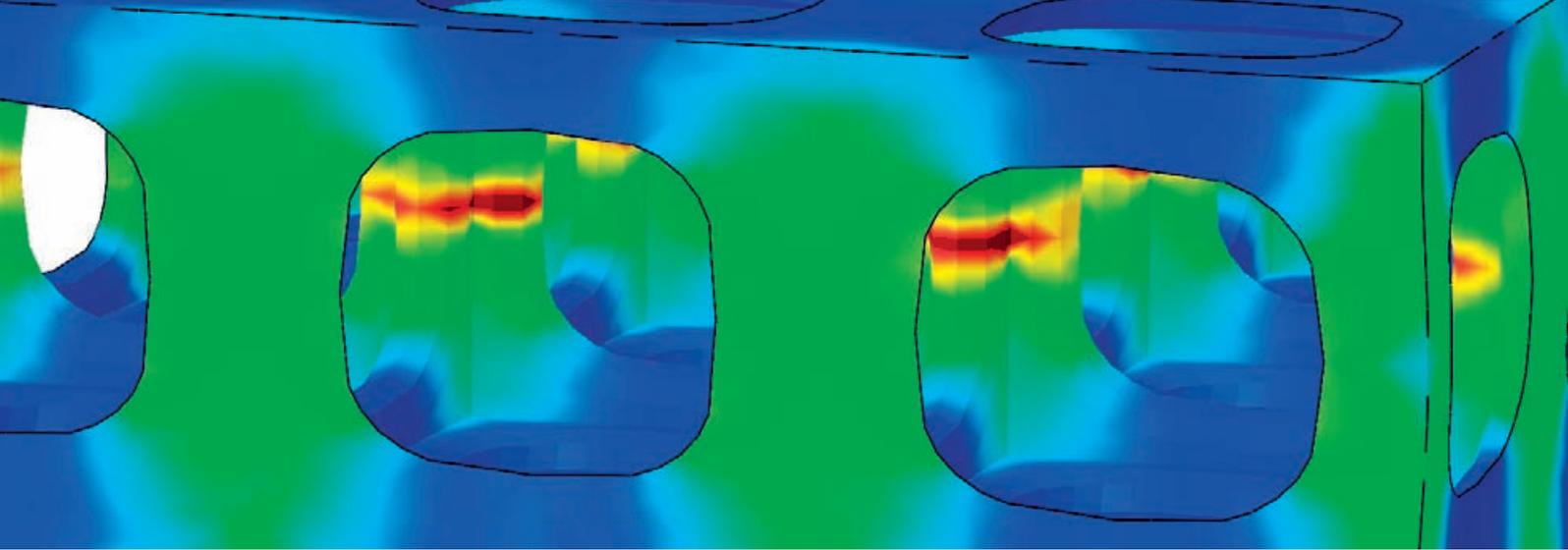
- Werkstoffcharakterisierung und Ermittlung mechanischer Kennwerte
- Bauteilprüfung und Schadensanalyse
- Mikrostrukturanalyse und Fehlerdiagnostik in Mikro- und Nanosystemen

Zur Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung untersuchen wir die Reaktion von Werkstoffen und Bauteilen auf mechanische, thermomechanische und elektromechanische Belastungen und klären Verformungs- und Versagensmechanismen auf. Wir ermitteln die Grenzen der Beanspruchbarkeit von Werkstoffen und Bauteilen, bewerten die Betriebssicherheit und schätzen die Lebensdauer von Bauteilen ab. Es werden Schadensanalysen durchgeführt und Lösungen erarbeitet, um künftige Schäden zu vermeiden.

Die benötigten Werkstoffkennwerte werden in Korrelation zur Mikrostruktur und zu maßgebenden Prozessgrößen auf allen Größenskalen erfasst und bewertet.

Bei der Bauteilprüfung werden lokal variierende Werkstoffeigenschaften berücksichtigt. Für mikroskalige Bauteile beschreiben wir Werkstoffstruktur und Werkstoffverhalten bis in den Bereich der atomaren Auflösung. Bei der Bewertung von Bauteilen berücksichtigen wir die Fehlercharakteristik und Umgebungseinflüsse.

Ansprechpartner: Dr. Michael Luke, Telefon +49 761 5142-338, michael.luke@iwm.fraunhofer.de
Andreas Krombholz, Telefon +49 345 5589-153, andreas.krombholz@iwmh.fraunhofer.de



Kernkompetenz

WERKSTOFFMODELLIERUNG UND SIMULATION

- Entwicklung und Anpassung von Werkstoffmodellen
- Anwendung und Entwicklung eines breiten Spektrums numerischer Methoden
- Simulation von Fertigungsprozessen und Bauteilen

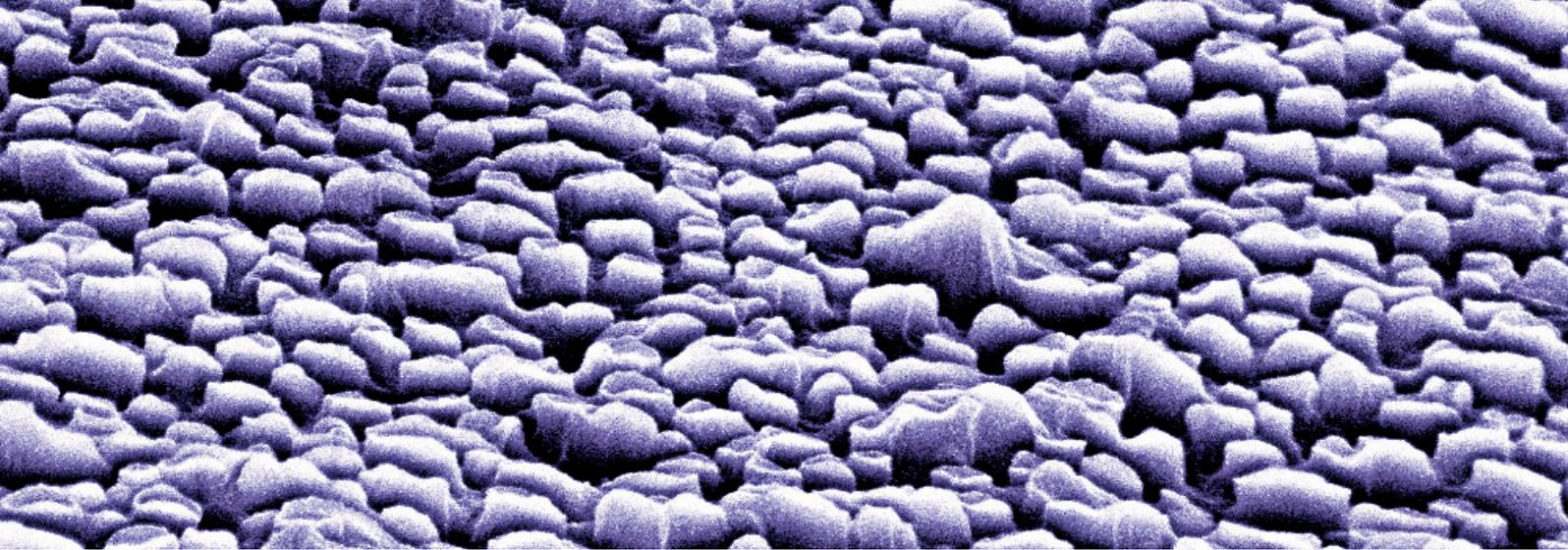
Werkstoffmodellierung und Simulation helfen, Belastungsszenarien und Prozesse für reale und noch zu entwickelnde Werkstoffe und Bauteile im Rechner abzubilden. Damit können Werkstoffe und Bauteile wirtschaftlich entwickelt und Prozesse verbessert werden.

Wir beschreiben das Verformungs-, Schädigungs- und Bruchverhalten von Werkstoffen unter verschiedenen Belastungen und sagen das Einsatzverhalten voraus. Die Bauteilsimulation liefert Aussagen zu Sicherheit und Lebensdauer. Die Ergebnisse der Prozesssimulation fließen in die Auslegung von Werkzeugen und in die Prozessführung ein.

Wir modellieren Werkstoffe über verschiedene Skalen hinweg und messen modellspezifische Eigenschaften (Design of Experiments).

Wir koppeln und kombinieren dabei verschiedene Simulationen. Im »Virtuellen Labor« finden aufwändige numerische Simulationen statt, und durch das »Virtuelle Mikroskop« sind wir in der Lage, Eigenschaften von Werkstoffen vorherzusagen.

Ansprechpartner: Dr. Dirk Helm, Telefon +49 761 5142-158, dirk.helm@iwmm.fraunhofer.de
Dr. Matthias Ebert, Telefon +49 345 5589-117, matthias.ebert@iwmm.fraunhofer.de



Kernkompetenz

GRENZFLÄCHEN- UND OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE

- Beschichtungen und Oberflächenfunktionalisierungen
- Physikalische und chemische Oberflächenanalytik
- Tribometrie und Oberflächenformgebung

Wir entwickeln moderne Beschichtungstechnologien und Oberflächenmodifizierungsverfahren für kundenspezifische Problemlösungen. Wir bewerten die funktionalen Oberflächeneigenschaften von Materialien und Komponenten wie Benetzung, Adhäsion oder Biokompatibilität und zeigen Verbesserungspotenziale auf.

Mit modernsten oberflächenanalytischen Verfahren untersuchen wir umfassend die morphologischen, mechanischen und chemischen Ober- und Grenzflächeneigenschaften.

Zudem nutzen wir In-situ-Technologien für die Bewertung von tribologischen Vorgängen und zur Analyse von Beschichtungsprozessen. Wir verbinden Theorie und Experiment beispielsweise bei der Erforschung von Schichtwachstumsvorgängen oder Tribokontakten und Adhäsionsphänomenen. Unterstützt durch atomistische Simulationsrechnungen entwickeln wir nanostrukturierte Oberflächen und kontaktierte, antiadhäsive Werkzeugbeschichtungen für Formgebungsprozesse an Gläsern und Kunststoffen.

Ansprechpartner: Prof. Dr. Andreas Heilmann, Telefon +49 345 5589-180, andreas.heilmann@iwmh.fraunhofer.de
Dr. Frank Burmeister, Telefon +49 761 5142-244, frank.burmeister@iwm.fraunhofer.de

Geschäftsfeld

TRIBOLOGIE

Für moderne Materialien und Beschichtungen erschließen wir wettbewerbsrelevante neue Anwendungen vorzugsweise in tribologisch beanspruchten Systemen. Mit konsequenter Kombination von Experiment und Simulation bieten wir unserer Kundschaft eine ganzheitliche Problemlösungsstrategie. Wir verbessern mit unseren Projektpartnern die Gebrauchseigenschaften der Werkstoffe für die jeweiligen Einsatzbedingungen und ermitteln deren Grenzen.

Tribologische Optimierungen werden durch gezielt entwickelte Werkstoffe und Oberflächenbehandlungen erreicht. Für den optimalen Werkstoffeinsatz müssen die Belastungen möglichst genau ermittelt werden. Problemlösungen erfolgen auf der Grundlage einer mechanismenbasierten Sichtweise. Jede neue Werkstoffpaarung erfordert zudem die genaue Kenntnis der Werkstoff- und Oberflächeneigenschaften und deren Veränderung im Betrieb. Diese werden mit mechanischen, tribologischen und physikalisch-chemischen Untersuchungsverfahren, die speziell für die praktischen Anwendungen optimiert wurden, ermittelt.

Bemerkenswertes aus 2010

Anfang des Jahres wurden Geräte für rund 4,5 Millionen Euro aus dem Konjunkturprogramm 2009 in Betrieb genommen. Dazu gehören sowohl Tribometer als auch Geräte zur oberflächenphysikalischen und -chemischen Analytik. Ein großer Anteil dieser Investitionen entfiel auf Tribologielabore zur hochgenauen Echtzeitbestimmung von Reibung und Verschleiß sowie einen Motorenprüfstand, mit dem Reibungs- und Verschleißmessungen an Versuchsmotoren möglich sind.

Im Mai erfolgte die feierliche Eröffnung des MikroTribologie Centrums μ TC, zu der mehr als 200 Besucher aus Industrie und Universitäten begrüßt wurden. Das μ TC ist eine gemeinsame Einrichtung des Geschäftsfeldes Tribologie des

Fraunhofer IWM und des Instituts für Zuverlässigkeit von Bauteilen und Systemen IZBS des Karlsruher Instituts für Technologie KIT. Reibung und Verschleiß in Motoren, Getrieben, Lagern und Dichtungen zu verstehen, zu modellieren und zu simulieren und mit geeigneten Maßnahmen wie Oberflächenbehandlungen, Beschichtungen oder modifizierten Werkstoffen beziehungsweise Randschichten zu reduzieren und die Tribologie auf allen Größenskalen berechenbar zu machen, werden die Aufgaben des μ TC sein. Für das MikroTribologie Centrum μ TC ist der Bau von zwei Gebäuden in Karlsruhe geplant.

In Freiburg kam der Bau der Beschichtungszentrums planmäßig voran, so dass dem Bezug im Jahr 2011 nichts im Wege steht.

Gruppe

Verschleißschutz, Technische Keramik

Werkstoffe werden für den Anwendungsfall geprüft, bewertet und ausgewählt, um eine Leistungssteigerung oder einen sicheren Betriebseinsatz zu gewährleisten.

Dr. Andreas Kailer

andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de

Gruppe

Biomedizinische Materialien und Implantate

Schwerpunkte sind die Bewertung der Zuverlässigkeit und des Einsatzverhaltens biomedizinischer Materialien und Implantate sowie die Kunststofftribologie. Hierzu werden geeignete Experimente und Simulationstechniken entwickelt.

Dr. Raimund Jaeger

raimund.jaeger@iwm.fraunhofer.de

Gruppe

Tribologische Schichtsysteme

Entwicklung von maßgeschneiderten Beschichtungslösungen und -verfahren sowie Herstellung und Bewertung von glatten und strukturierten diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtungen für hohe Gleit- und Wälzbelastungen.

Dr. Sven Meier
sven.meier@iwf.fraunhofer.de

Gruppe

Mikrotribologie

Im Fokus liegt die Aufklärung von Verschleißmechanismen auf Basis der Schädigungsmechanik und Energiebilanzierung unter Verwendung kontinuierlicher Reibungs- und Verschleißmessungen.

Prof. Dr. Matthias Scherge
matthias.scherge@iwf.fraunhofer.de

Gruppe

Multiskalenmodellierung und Tribosimulation

Die skalenübergreifende Simulation (von atomistischen Methoden bis hin zur Kontinuumsmechanik) dient als Grundlage zum Verständnis von Prozessen in der Tribologie: in Nanomaterialien und in granularen Medien.

Prof. Dr. Michael Moseler
michael.moseler@iwf.fraunhofer.de



Dr. Thomas Hollstein
Geschäftsfeldleiter

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

VERSCHLEISSSCHUTZ, TECHNISCHE KERAMIK

Dr. Andreas Kailer

andreas.kailer@iw.fraunhofer.de

REIBARME, EXTREM STEIFE LAGEREINHEIT FÜR RADNABENMOTOREN

Angesichts der in Zukunft zu erwartenden Verknappung fossiler Treibstoffe gewinnt die elektrische Mobilität eine ganz neue gesellschaftliche Bedeutung. Durch die Gewinnung von Strom aus regenerativen Energieformen können elektrisch angetriebene Automobile in Zukunft das komplette Verkehrssystem revolutionieren. Bis zum Jahr 2015 sollen nach dem Nationalen Entwicklungsplan der Bundesregierung mehr als eine Million Elektroautos auf Deutschlands Straßen fahren. Um jedoch das volle Potenzial von elektrisch betriebenen Automobilen ausschöpfen zu können, müssen Teile der bestehenden Fahrzeugkonzepte neu entwickelt und in die bestehende Verkehrsinfrastruktur eingefügt werden.

Einerseits sollte also das Elektroauto der Zukunft an bestehende Fahrzeugkonzepte angepasst werden, um den Nutzerinnen und Nutzern sowie der Industrie einen sanften Umstieg in die neue Technologie zu ermöglichen. Andererseits muss ein neues Fahrzeugkonzept deutlich veranschaulichen, dass es tatsächlich die technischen Möglichkeiten der elektrischen Mobilität nutzt.

Vereinfacht den Antriebsstrang: Radnabenmotor

Ein Radnabenmotor (in die Felge integrierter Elektromotor) ist ein solches Element, das sich aufgrund vielversprechender Leistungsdaten und geringem Gewicht – ausreichende Serientauglichkeit vorausgesetzt – hervorragend in bestehende Fahrzeugkonzepte einbeziehen lässt. Gleichzeitig wird auch der komplette Antriebsstrang mit Getrieben, Differenzial und Abgasstrang extrem vereinfacht. Durch den einzelnen Antrieb der Räder sind neue Möglichkeiten in der aktiven Fahrzeugsteuerung möglich. Um das volle Potenzial von Radnabenmotoren ausschöpfen zu können, muss in einen solchen Motor unbedingt die Leistungselektronik integriert werden.

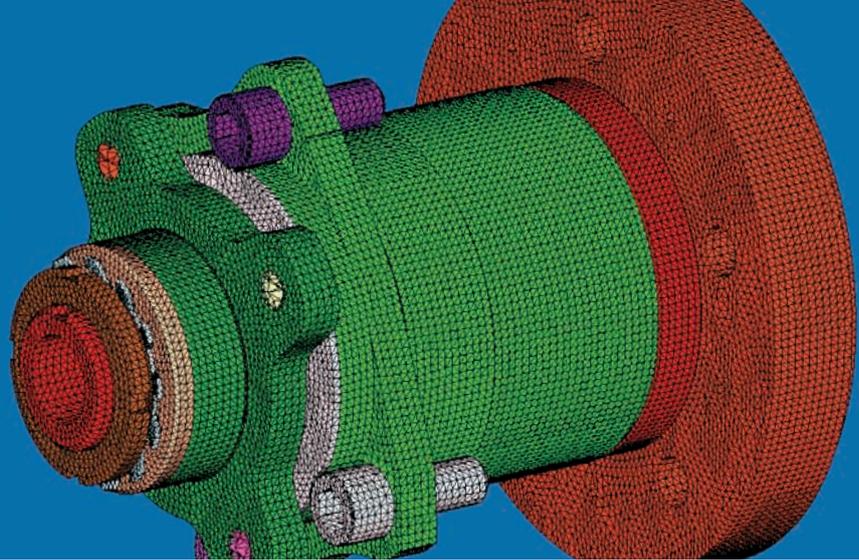
Konzept für serienfähigen Radnabenmotor

Radnabenmotoren bilden aufgrund ihres energieeffizienten und platzsparenden Aufbaus in vielen zukunftsweisenden elektrischen Fahrzeugkonzepten das Rückgrat. Während Radnabenmotoren in verschiedenen elektrifizierten Fahrzeugen (vom Rollstuhl bis zum Gabelstapler) bereits eingesetzt werden, konnten sie sich in Serien-Kraftfahrzeugen bisher nicht durchsetzen. Im Rahmen der Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität wird ein Konzept für einen serienfähigen Radnabenmotor (RNM) für elektrische Automobile entwickelt. Ein entsprechender Demonstrator im Leistungsbereich bis 30 kW für ein Dauerdrehmoment von maximal 500 Nm wird gebaut und in ein Fraunhofer-Konzeptfahrzeug integriert.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Radnabenmotoren ist in diesem Motor die Leistungselektronik bereits integriert. Damit sollen Drehmomentdichten größer 15 Nm/kg Motorgewicht trotz integrierter Leistungselektronik erreicht werden. Dies gelingt nur durch eine neuartige extreme Verkleinerung der Leistungselektronik und eine konsequente Miniaturisierung aller vorhandenen Komponenten, so dass der fertige Radnabenmotor noch in eine normale 15-Zoll-Felge passt.

Hybridschräggugellager

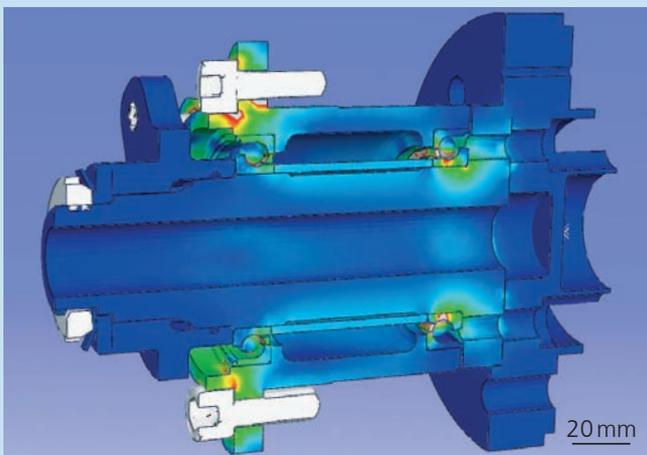
Um gleichzeitig niedrige Reibwerte und genügend Platz für die Leistungselektronik zu erhalten, wurde eine neuartige Lager-einheit mit Hybridschräggugellagern entwickelt und über Finite-Elemente-Simulationen ausgelegt. Mit Hilfe der hybriden Schräggugellager, welche mit Keramikugeln ausgestattet sind, können gegenüber einem in Radnabenmotoren üblichen Rollenlager bis zu 40 Prozent der Reibung bei nur einer minimalen



*Finite-Element-Netz der Radlagereinheit
für den Fraunhofer-Radnabenmotor.*

Vergrößerung des Bauraums erreicht werden. Speziell entwickelte DLC-Beschichtungen der Käfige und der Lagerringe führen dabei zu einer verbesserten Lebensdauer und einer nochmals um 10 bis 20 Prozent niedrigeren Reibung gegenüber den unbeschichteten Hybridschräggugellagern.

Bernhard Blug



1 Auslegung der Radlagereinheit für den
Fraunhofer-Radnabenmotor.



2 Radlagereinheit mit Hybridlagern
als Demonstrator.

VERSAGENSINDUZIERTER GERUCHSDETEKTION VON KUNSTSTOFFKOMPOSITEN

Für sicherheitsrelevante Bauteile aus Kunststoff kommen unter anderem optische, akustische oder teilzerstörende Prüfungen zur Rissdetektion in Betracht. In manchen Anwendungen können Bauteile jedoch nicht überprüft werden, da sie schwer zugänglich sind oder schwierige Abmessungen aufweisen. Abhilfe können hier olfaktorische, das heißt geruchsinduzierte Prüfungen zur Rissdetektion schaffen. Unser Forschungsprojekt schließt damit eine Lücke in der Nutzung menschlicher, aber auch technischer Sensorik, die besonders leistungsfähig ist. Anwendungen wie Sicherheitshelme, Mehrschichtwandungen von Gefäßsystemen und Druckschläuchen sind denkbar.

Am Fraunhofer IWM wurden im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes gemeinsam mit dem Fraunhofer UMSICHT Kompositensysteme mit dem Schwerpunkt auf spritzgussfähige Polypropylenkomposite entwickelt, die bei Schädigung Duftstoffe austreten lassen.

Kapsel- und Kompositensysteme

Das Fraunhofer UMSICHT stellt die Materialien und Komposite her, das Fraunhofer IWM testet die Materialien. Die Duftstoffe werden in Form von Duftölen mit meist blumig-fruchtigem Geruch in einen porösen Siliziumdioxidkern eingearbeitet. Dieser wird über Verkapselungsprozesse mit einem dichten, festeren Wandmaterial versehen. So entstehen Pulver aus Kapseln mit etwa 30 µm Durchmesser und Wandstärken von rund 1 µm. Sie wurden als Polypropylenkomposite spritzgegossen oder auch als Epoxidkomposite ausgehärtet. Zur optimalen Auswahl der Komposite wurden die Systemkomponenten variiert und die Komponentenpaarungen analysiert.

Charakterisierung und Simulation der Kapseln

Die Kapseln wurden im Rasterelektronenmikroskop in intaktem Zustand aufgebrochen und im Schliff betrachtet. Eine neue Charakterisierungsmethode wurde erprobt, um die mechanische Belastbarkeit der Kapseln über eine Kapselselektion mit einem registrierenden Indentationsverfahren prüfen zu können. Bei der Indentation mit einer Vickersspitze wird die Kapsel deformiert bis sie aufreißt. Hierbei hat sich eine definierte Penetration mit Haltephase bewährt. Anhand der Indentationskraft konnten die Kapselsysteme bewertet werden (Abbildung 1).

Charakterisierung und Simulation der Komposite

Die Polypropylenkomposite wurden überwiegend über Zugversuche mechanisch geprüft, da ungefülltes Polypropylen plastisch in Form von wachsender Einschnürung versagt. Mit der wahren plastischen Verfestigung wurde das Kompositverhalten modelliert. Die Komposite brechen spröde mit einem faserigen Bruchbild.

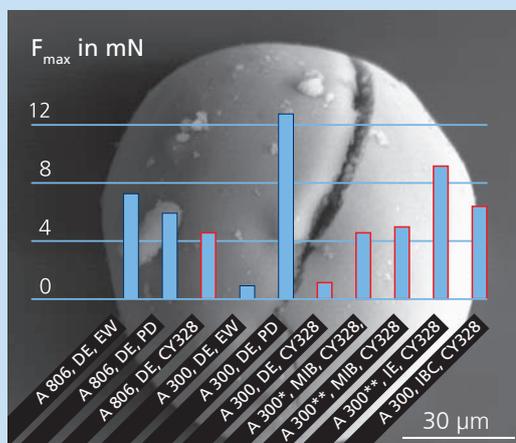
Für die Auslegung der Versagensdetektion wurde ein Kompositensystem erprobt, für das eine ausreichende mechanische Anbindung des Kapselwandmaterials an die Matrix vorhanden war. Zudem soll das Versagensverhalten des Komposites trotz Variation des Füllungsgrades bekannt sein und eine ausreichende Kapselöffnung in der Phase des Bruches induziert werden. Für die Kombination aus Polypropylen-Matrix und Melaminformaldehydharz-Wandmaterial wird eine gleichbleibende Bruchspannung erreicht. Gleichzeitig werden über den Füllungsgrad und auch über das Verhältnis von Wandmaterial zu Kapselkern ein Deformationswiderstand und damit eine



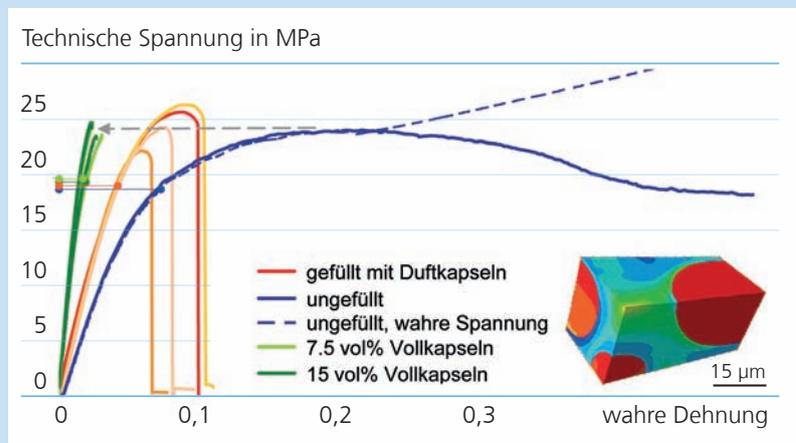
Die Aktivierung der Duftkapseln (Durchmesser 30 μm) durch ein Aufreißen der Kapseln unter Last (rot) wurde über Komposit-Simulationen der Einzelmaterialien analysiert.

Bruchdehnung beziehungsweise Bruchenergie eingestellt (Abbildung 2). Je nach Anwendung kann die Versagensgröße variiert und so die Kapselöffnung über iterative Simulationen vor dem finalen Bruch eingestellt werden. Die Demonstration erfolgte anhand eines Fahrradhelms der bei Beschädigung anfängt Geruchsstoffe freizusetzen. Die mechanisch definierte Ausrüstung mit funktionellen Mikrokapseln ist aber auch auf medizinische oder tribologische Anwendungen übertragbar.

Dr. Christof Koplín



1 Die selektive Indentation mit Penetrationstiefen weniger μm ist ein Verfahren zur Charakterisierung der Duftkapselsysteme.



2 Versagensrelevante Größen wie Deformationswiderstand, Bruchdehnung beziehungsweise Bruchenergie können für die Komposite eingestellt werden.

SIMULATION NEUARTIGER SEPARATOR-MATERIALIEN FÜR LITHIUM-IONEN-BATTERIEN

Von entscheidender Bedeutung für die Leistungsfähigkeit einer Li-Ionen-Batterie ist der Separator, welcher einen elektrischen Kurzschluss zwischen Anode und Kathode verhindert, aber den Austausch von Li-Ionen zwischen den Elektroden mit möglichst geringem Widerstand erlaubt. Batterien hoher Leistungs- und Energiedichten, wie sie in der Elektromobilität benötigt werden, erfordern die Entwicklung neuer Separatoren geringen Eigengewichts und hoher mechanischer und chemischer Stabilität.

Vielversprechende und innovative Separatormaterialien mit diesen Eigenschaften sind die sogenannten Chalcogenido-Metallate, die poröse Kristalle mit gerichteten Kanälen bilden, durch welche die Ionenleitung erfolgen kann. Im Rahmen des BMBF-Projekts KoLiWIn (Konzeptstudien für neuartige Lithium-Ionen-Zellen auf der Basis von Werkstoff-Innovationen) wurde der Kalium-Ionenleiter $K_x[MnGe_4Se_{10}]$, $x = 1 \dots 4$ (Abbildung 1) als Modell für Alkali-Ionen leitende Chalcogenido-Metallate mit Hilfe quantenchemischer Simulationsmethoden näher untersucht. Insbesondere interessierte dabei die Aufdeckung des für den Ionentransport verantwortlichen Mechanismus.

Bindungsenergien

Das $MnGe_4Se_{10}$ -Gerüst erlaubt die Aufnahme von $x = 1 \dots 4$ Kaliumatomen pro Einheitszelle. Experimentell wurde $K_x[MnGe_4Se_{10}]$ von den Partnern an der Uni Marburg im Gleichgewicht mit einer wässrigen Lösung synthetisiert und dabei ein Kaliumgehalt von $x = 2$ gefunden.

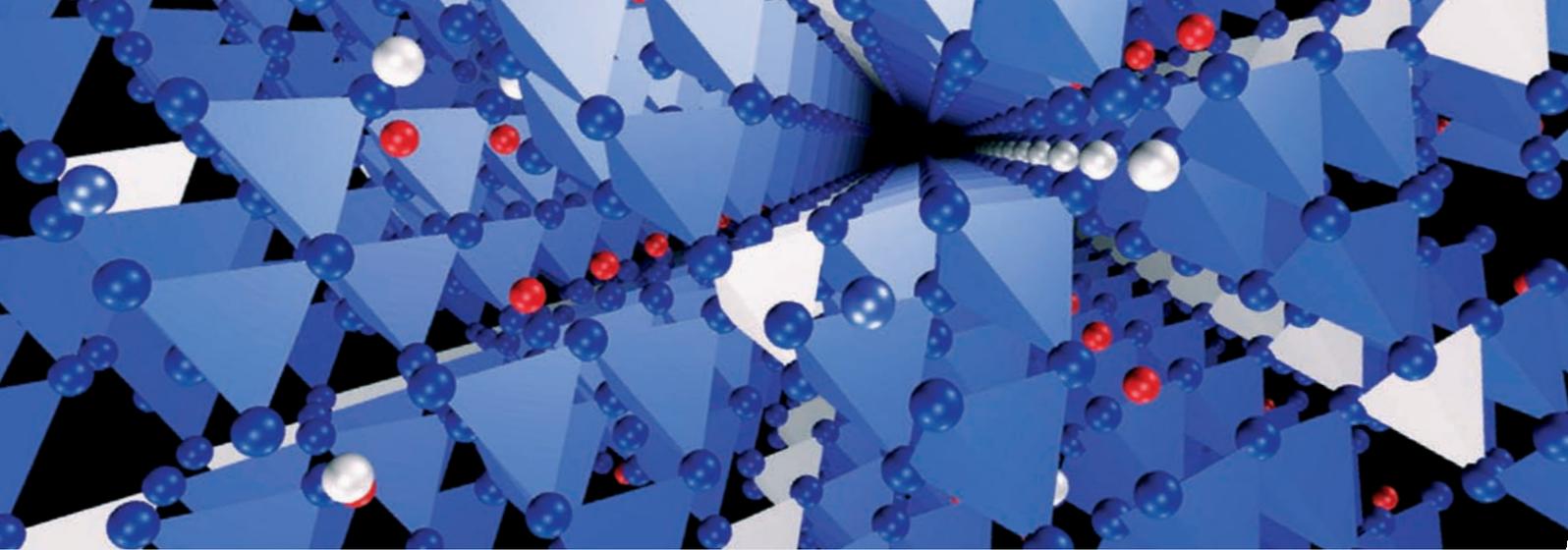
Durch quantenchemische Rechnungen konnte eine sich mit zunehmendem Kaliumgehalt x verringernde Bindungsstärke der K-Ionen nachgewiesen werden. Insbesondere fällt für $x > 2$

die Bindungsenergie unter die Hydratationsenthalpie von K-Ionen, so dass die experimentelle Stöchiometrie $K_2[MnGe_4Se_{10}]$ bestätigt werden konnte.

Transportmechanismus

Die entscheidende Größe für die Ionenleitfähigkeit in Festkörpern ist die Energiebarriere, die ein Ion überwinden muss um seinen Gitterplatz zu wechseln. Die Berechnung der Energiebarriere für ein K-Ion beim Durchlaufen eines Kanals des $MnGe_4Se_{10}$ -Gerüsts erfolgte durch eine Kombination aus quantenchemischen Rechnungen und der Nudged-Elastic-Band-Methode. Die sich aus der Rechnung ergebende Energiebarriere erwies sich als deutlich kleiner als jene, die in experimentellen Ionenleitfähigkeitsmessungen gefunden wurde. Folglich kann der Ionentransport nicht allein von den Eigenschaften eines isolierten K-Ions in einer $MnGe_4Se_{10}$ -Grundstruktur abhängen. Vielmehr muss der Besetzungszustand einer $MnGe_4Se_{10}$ -Einheitszelle mit K-Ionen berücksichtigt werden. Wie bereits erwähnt, teilen sich im Gleichgewichtszustand durchschnittlich 2-K-Ionen einen Gitterplatz. In dieser Situation reduziert sich bei einem Ionentransfer die Besetzungszahl einer Einheitszelle auf 1, während der benachbarte Gitterplatz nun 3-K-Ionen enthält (Abbildung 2).

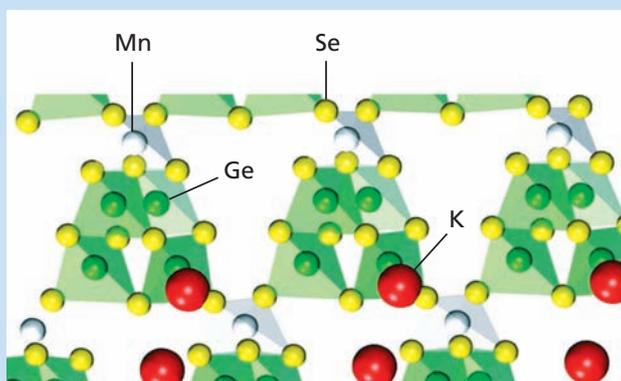
Wie aus den Berechnungen der Bindungsenergien jedoch bereits bekannt ist, stellt die Besetzung zweier Gitterplätze mit 1- und 3-K-Ionen eine energetisch ungünstigere Konfiguration dar als die Besetzung mit jeweils 2-K-Ionen. Berücksichtigt man zusätzlich die eben beschriebene Energetik der Besetzungsverteilung, so erhält man schließlich für die Energiebarriere eine quantitative Übereinstimmung mit dem Experiment.



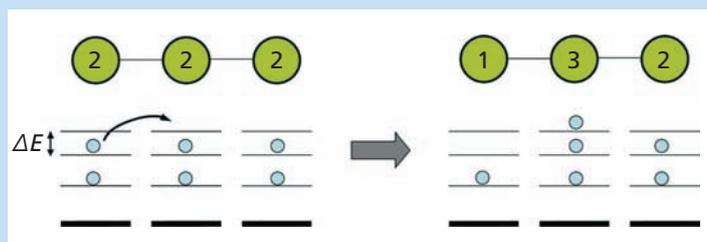
Simulierte Kristallstruktur von $K[MnGe_4Se_{10}]$.

Die Korrelation des Ionentransports mit den Besetzungen der einzelnen Gitterplätze führt also zu einer Erhöhung der Energiebarrieren und damit zu einer kleineren Ionenleitfähigkeit. Die Aufklärung des Transportmechanismus für die untersuchte Modellstruktur ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg hin zu Separatoren mit hoher Ionenleitfähigkeit, die auf Chalcogenido-Metallaten basieren. Für die Entwicklung zukünftiger Lithium-Ionen-Batterien ergeben sich hierdurch interessante Perspektiven im Hinblick auf erhöhte Leistungs- und Energiedichten.

Dr. Leonhard Mayrhofer, Dr. Lars Pastewka



1 Das Chalcogenido-Metallat $K_x[MnGe_4Se_{10}]$ besteht aus einem kristallinen $[MnGe_4Se_{10}]$ -Grundgerüst mit großporigen Kanälen, durch die Ionentransport erfolgen kann.



2 Schematische Darstellung eines Diffusionsprozesses zwischen zwei Gitterplätzen. Die zugehörige Änderung der Besetzungszahlen erfordert die Aufwendung der Energie ΔE .

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

TRIBOLOGISCHE SCHICHTSYSTEME

Dr. Sven Meier

sven.meier@iw.fraunhofer.de

REIBARME BESCHICHTUNG FÜR BODENBEARBEITUNGSGERÄTE

Schichtentwicklung

Das Fraunhofer IWM entwickelt eine innovative, abrasiv beständige Beschichtung mit diamantähnlichen Schichten (DLC) (www.iwm.fraunhofer.de/rembob). Mit Hilfe eines speziell für diesen Einsatz entworfenen Tribometers werden die Schichtsysteme an die Besonderheiten im Kontakt mit dem Boden optimiert. Hierfür kommen besonders harte und dicke DLC-Schichten ($> 20 \mu\text{m}$) zum Einsatz. Später werden sie in Praxistests (Feldversuchen) getestet.

Mit einer Mehrquellen-PACVD-Anlage können diese außerordentlich verschleißbeständigen Schichten hergestellt werden. Dabei ermöglicht die Kombination verschiedener Plasma-Quellentechneiken (ICP, CCP, MWP) die voneinander unabhängige Steuerung der Plasmadichte und damit der Wachstumsrate sowie der Ionenenergie und damit der Schichthärte.

Fertigung von Schneidwerkzeugen und Scharen

Für den Einsatz im Boden werden Schneidwerkzeuge und typische Schar für die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung aus verschiedenen gehärteten Stählen gefertigt und unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen (Schleifen) unterzogen. Hierbei zeigten bisher besonders gehärtete Stähle mit feingeschliffener Oberfläche und anschließender Beschichtung die besten Ergebnisse.

Feldversuche

Im Praxistest werden bei jeder Fahrt beschichtete mit unbeschichteten Schneidwerkzeugen im Boden verglichen. Mit kalibrierten Dehnungsmessensoren wird die benötigte Kraft an jedem Schar erfasst und ausgewertet. Die ersten Ergebnisse

zur Reibungsminderung sind sehr erfolgversprechend. Eine Reduzierung des Reibwerts von zirka 20 Prozent erscheint realistisch. Die ersten Versuche fanden in der näheren Umgebung von Freiburg statt. Zukünftig sind auch Schleppversuche mit beschichteten Grubbern auf ausgewählten Flächen im Nordwesten Deutschlands geplant, um Ergebnisse bei verschiedenen Bodenarten zu erhalten.

Felizitas Gemetz



1 DLC-beschichtetes Schneidwerkzeug unmittelbar nach dem Einsatz.

TRIBOLOGIE VON ALSI-LEGIERUNGEN IN VERBRENNUNGSMOTOREN

Ging man bisher davon aus, dass die guten Verschleißigenschaften konventioneller AlSi-Legierungen durch das Gleiten des Kolbenrings auf den Si-Partikeln zustande kommt (Abbildung 1 oben), weiß man nunmehr, dass erst die sich bildende Nanolegierung den gewünschten Effekt bringt. Viele Untersuchungen haben sich in der Vergangenheit mit der Frage beschäftigt, wie tief die optimale Freilegung einer AlSi-Legierung sein muss. Vom Modell getrieben, dass der Kolbenring ausschließlich auf den harten Si-Körnern gleitet, wurde eine zu große Freilegungstiefe als schädlich betrachtet, da dadurch die Gefahr des Herausbrechens besteht. Eine zu geringe Freilegungstiefe erschien ebenfalls als nicht zielführend, da hierbei die Si-Körner durch Aluminium überschmiert werden könnten. Als Nebeneffekt wurden Ölreservoirs zwischen Kolbenring und Freilegung vermutet.

Eine topografische Fläche

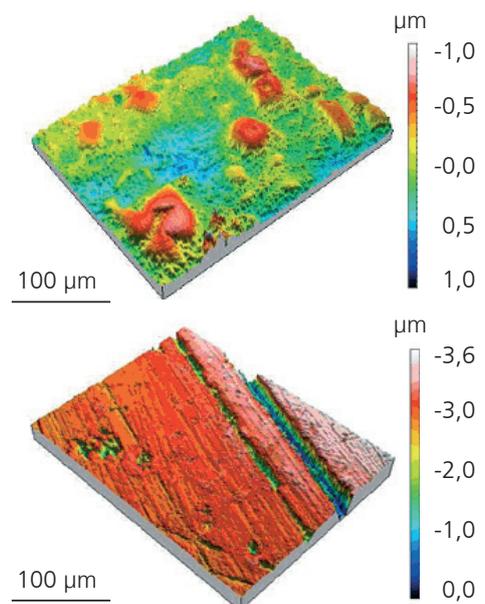
Mit dem Einsatz des Strukturhonsens (Abbildung 1 unten) sind all diese Diskussionen gegenstandslos geworden. Nunmehr bilden Aluminium und Silizium topographisch eine Fläche. Da das Honen zwangsläufig Al-Körner aus der Matrix reißt, werden diese Defekte nunmehr als Ölreservoirs interpretiert. Derartige Modellvorstellungen sind problematisch, da sie eine tribologisch wenig wirkungsvolle Längenskala ansprechen.

Oberflächennahes Nanogefüge

Daher werden in einem durch die Fraunhofer-Gesellschaft finanzierten Projekt (TriboMan) gemeinsam den Fraunhofer-Instituten IFAM, IWU, IPT und IST nanokristalline AlSi-Legierungen hergestellt und mit Hilfe von Tribometer- und Motorentests analysiert. Der tribologisch entscheidende Prozess ist

die Bildung eines optimalen, sich selbst erhaltenden oberflächennahen Nanogefüges mit geringem Scherwiderstand. Die sich bildende Struktur wird als dritter Körper bezeichnet, welcher sowohl kleine Verschleißraten als auch geringe Reibverluste garantiert, auch wenn es einen hohen Anteil von Mischreibung gibt. Zur Bildung des dritten Körpers kann nicht nur der Einlauf verwendet werden, sondern im Vorfeld auch die tribologisch optimierte und energetisch gesteuerte Endbearbeitung.

Prof. Dr. Matthias Scherge



1 Konfokalmikroskopieaufnahmen: AlSi konventionell gehont (oben) und strukturgehont (unten).

Unser Leistungsangebot beinhaltet Untersuchungen und technologische Entwicklungen zur Herstellung von Komponenten mit besonderen funktionalen Eigenschaften sowie Analysen und Optimierungen durch physikalische Werkstoffmodellierung und Simulation. Im Vordergrund stehen Materialbearbeitung, Präzisionsformgebung, Gieß-, Druck und Pressprozesse sowie Beschichtungen und Materialsysteme aus den Bereichen Hartstoffe, Keramiken, Gläser, optische Funktionsmaterialien, Halbleitermaterialien und Ferroelektrika.

Bemerkenswertes aus 2010

Für die Herstellung von Vakuumisoliertglas wurden im Rahmen des Projektes »ProVIG« Fertigungsmethoden und -prozesse entwickelt, die technische Lösungen für die dauerhafte Vakuumabdichtung bereitstellen.

Um in der Herstellung keramischer Folien über den Gießprozess die Gefügeausbildung zu kontrollieren, haben wir eine neue Simulationsmethode entwickelt. Sie stellt die komplexen Strömungsvorgänge im Gießkasten beim Foliengießen dar. Für die Optimierung der Prozesstechnik haben wir in der Folge Vorgaben erarbeitet, die in der Kooperation mit Industriepartnern umgesetzt werden.

Für keramisches Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) haben wir erstmals die Entwicklung einer durchgängigen multiskalen Materialmodellierung demonstrieren können. Mittels Beschreibung von Kristallstrukturen und chemischen Bindungen durch die first-principles-Dichtefunktionaltheorie wurden im Modell PZT-Materialien unterschiedlicher Mikrostruktur sowie ferroelektrische Eigenschaften und piezoelektrisches Bauteilverhalten dargestellt. Die Ergebnisse wurden in einem Verbundprojekt direkt in die Material- und Bauteilentwicklung eingebracht und vom Projektkonsortium auf der internationalen Konferenz MMM2010 präsentiert.

Gruppe

Bearbeitungs- und Trennverfahren

Wir entwickeln schädigungsarme Bearbeitungs- und Trennverfahren zur Herstellung von Komponenten aus Glas und Silizium mit hochwertigen Kanten und Flächen, führen Schadensanalysen durch und unterstützen unsere Kunden bei der Steigerung der Gutasbeute in der Fertigung und Einsatzsicherung von Komponenten in Betrieb und Anwendung.

Dr. Rainer Kübler

rainer.kuebler@iwm.fraunhofer.de

Gruppe

Heißformgebung Glas

Für die Fertigung von Optikelementen und Präzisionsbauteilen aus Gläsern entwickeln wir Heißformgebungsverfahren und Werkzeuge bis hin zur Pilotproduktion von Musterbauteilen. Schwerpunkte sind Verfahren zum Blankpressen präzisionsoptischer Linsen mit asphärischen Flächen aus optischen Gläsern sowie das Heißprägen optischer Komponenten mikro- und nanostrukturierter Bauteile bei kurzen Prozesszeiten.

Dr. Peter Manns

peter.manns@iwm.fraunhofer.de

Gruppe

Funktionale Schichtsysteme

Für die Beschichtung von Werkzeugen sowie für die Funktionalisierung von Komponenten entwickeln wir Schichtsysteme und passen diese für den industriellen Einsatz an. Schwerpunkte bilden auch die Bewertung und Konfigurierung von Schichten zur Steuerung von Oberflächenfunktionen wie Reflexion, Benetzung, Adhäsion, Härte und Beständigkeit.

Dr. Frank Burmeister

frank.burmeister@iwm.fraunhofer.de

Gruppe

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 sparen Kosten. Neben kontinuumsmechanischen Simulationsansätzen wenden wir diskrete Partikel-Methoden an.

Dr. Torsten Kraft
torsten.kraft@iwf.fraunhofer.de

Gruppe

Physikalische Werkstoffmodellierung

Mit physikalischen Modellen und numerischen Methoden simulieren wir das Werkstoffverhalten, sagen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen voraus und leisten dadurch Beiträge zur Material- und Funktionsoptimierung. Wir decken Einflüsse von Materialdefekten auf das Materialverhalten auf 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 Elsaesser
christian.elsaesser@iwf.fraunhofer.de



*Dr. Günter Kleer
Geschäftsfeldleiter*

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

BEARBEITUNGS- UND TRENNVERFAHREN

Dr. Rainer Kübler

rainer.kuebler@iw.fraunhofer.de

FLEXIBLES FLACHGLASBIEGEN

Bei der Herstellung gebogener Glasscheiben wird eine Flachglasscheibe über den materialspezifischen Glasübergangspunkt erwärmt. Das Glas verhält sich unter diesen Bedingungen wie zähflüssiger Honig und kann sich unter Einwirkung der Schwerkraft an eine Form anlegen. Der Glasbearbeiter hat daher prinzipiell ein breites Spektrum an kreativen Formmöglichkeiten für Flachglas.

Bei kleinen und mittleren Stückzahlen sind die Stückkosten für gebogene Glasscheiben unverhältnismäßig hoch, da individuelle Formen hergestellt und angepasste Prozesszeiten und -temperaturen erarbeitet werden müssen. Dies führt dazu, dass gebogenes Flachglas in kleinen und mittleren Stückzahlen trotz großer Marktchancen bei Architektur-, Spezialfahrzeug-, Möbel- und Designanwendungen kaum eingesetzt wird.

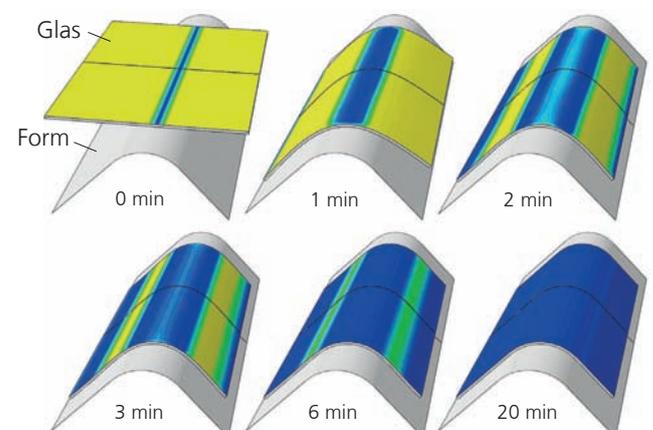
Biegeverfahren

Ein neuer Ansatz verfolgt die Strategie, das Glas im Biegeprozess auf einer flexiblen, also auf einer während des Prozesses aktiv veränderbaren Form zu biegen. Zusätzlich wird im Prozess eine an die Biegegeometrie angepasste Temperaturverteilung in das Glas eingebracht. Die Idee ist, das Flachglas zuerst eben liegend aufzuheizen und – sobald die gewünschte Temperaturverteilung erreicht ist – die Formgebung vorzunehmen. Dadurch werden lange Wartezeiten zum vollständigen Ausformen, wie sie beim klassischen Verfahren auftreten, minimiert. Das Verfahren bietet Vorteile in Hinblick auf Maßhaltigkeit, Oberflächengüte und Prozesszeit.

Prozessentwicklung

Das Verfahren wird am Fraunhofer IWM im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projektes zusammen mit Industriepartnern an einem industrietauglichen Ofen entwickelt. Darin können Flachgläser bis zu 1 x 0,8 m gebogen werden. Typischerweise liegen die Temperaturen beim Biegen zwischen 400 und 800 °C. Der Ofen ist insbesondere für Forschungszwecke mit umfangreicher Mess- und Regeltechnik ausgestattet. Unterstützt wird die Prozessentwicklung durch computergestützte Simulationsrechnungen. Dies reduziert die Anzahl der Fehlversuche und liefert einen tieferen Einblick in die physikalischen Vorgänge. Erste Musterscheiben wurden am Fraunhofer IWM bereits erfolgreich hergestellt.

Tobias Rist



1 Berechnete Formabweichungen zu unterschiedlichen Prozesszeiten, das Flachglas kann bis zu 1 x 0,8 m groß sein. Farbskala von blau = Formschluss bis gelb = noch von der Form entfernt.

BEWERTUNG VON FORMENMATERIALIEN FÜR GLASHEISSFORMGEBUNGSPROZESSE

Formenmaterialien für die Formgebung von heißen Glas-schmelzen müssen den mechanischen Beanspruchungen bei hohen Temperaturen und der Korrosion durch chemische Reaktionen mit dem heißen Glas widerstehen. Vor allem darf die zähflüssige Glasschmelze beim Formgebungsprozess nicht an den Formen ankleben. Besonders hohe Anforderungen an die Vermeidung des Anklebens von heißem Glas und das Erreichen hoher Korrosionsbeständigkeit der Formenoberflächen stellen Präzisions-Heißformgebungsprozesse für die Herstellung von optischen Komponenten. Diese bestehen darin, dass verschiedene Glasarten mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung verarbeitet werden müssen. Zudem besteht die Forderung nach geringer Mikrorauheit und hoher Oberflächengüte der geformten Optikkomponenten. Die optischen Gläser erfordern darum die spezifische Auswahl geeigneten Formenmaterials und angepasster Formenbeschichtung. Rein qualitative Bewertungsmethoden sind dabei nicht ausreichend, um geeignete Materialien für Formwerkzeuge zu qualifizieren und im Hinblick auf ihr Klebeverhalten zu bewerten.

Quantitative Charakterisierung

In einem neuen methodischen Ansatz zur quantitativen Charakterisierung des Klebeverhaltens von Formenmaterialien werden bruchmechanische Größen beim Trennen von Glas und Formenoberfläche nach dem Formgebungsvorgang ermittelt. Dazu werden in einem Pressprozess bei sehr hohen Temperaturen Probekörper so hergestellt, dass das Glas an den Formenmaterialproben anklebt. Durch entsprechende Vorbehandlung in der Kontaktfläche wird dabei jeweils ein keilförmiger Bereich mit definierter Geometrie erzeugt, in dem das Glas an der Formenoberfläche nicht anklebt.

Grenzflächenenergie

Zur bruchmechanischen Charakterisierung der Glas-Formenmaterial-Verklebungen werden die hergestellten Probekörper durch Zugbeanspruchung so belastet, dass ein Trennriss, ausgehend von der spitzen Kerbe in der Grenzfläche, voranschreitet. Aus den dabei gemessenen Abzugskräften können die Grenzflächenenergien berechnet werden. In ersten Untersuchungen an Verklebungen aus Borosilicatglas mit verschiedenen keramischen PVD-Beschichtungen auf Silizium wurde die Anwendbarkeit des neuen Messverfahrens nachgewiesen.

Dr. Peter Manns



1 Nach dem Heißformgebungsprozess am Formenmaterial an-klebende Glasprobe mit gestartetem Trennriss in der Grenzfläche zwischen Glas und Formenmaterial (Markierung).

DÜNNSCHICHT-TEMPERATURSENSOREN FÜR DIE KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Bei industriellen Formgebungsprozessen wie dem Spritzgießen sind präzise und konturnahe Temperaturmessungen erforderlich, um den Prozess zuverlässig regeln und Kunststoffteile mit höchster Oberflächengüte erzeugen zu können. Bisher eingesetzte Temperaturfühler, »weit entfernt« von der formgebenden Werkzeugwand, sind jedoch häufig zu träge für diese Anforderung. Eine konturnahe Echtzeit-Temperaturerfassung steht bis heute nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung.

Hohe Abformgrade, gute Oberflächen

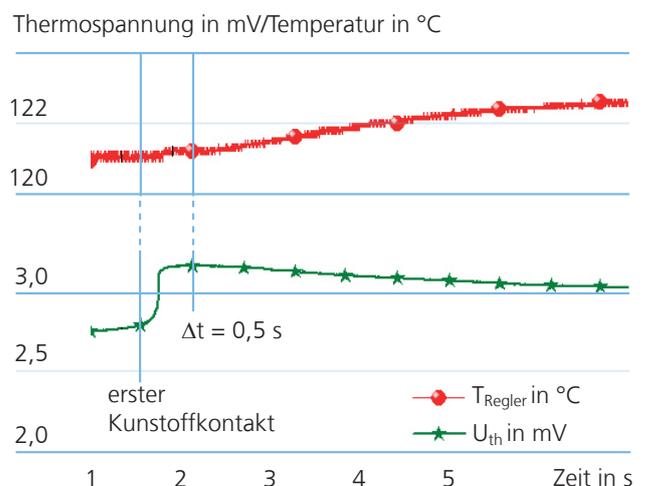
Insbesondere bei der Formgebung von Kunststoffteilen mit hochwertigen Oberflächen ist eine präzise Erfassung und Steuerung der Formenwandtemperatur im Moment des Kontakts mit der heißen Kunststoffschmelze notwendig. Nur wenn eine optimale Temperatur eingestellt ist, können hohe Abformgrade und Oberflächengüten erreicht werden. Die Temperatur muss dabei nahe der Erweichungstemperatur (T_g) des Kunststoffs liegen, um gute Abformgrade zu erreichen, darf aber auch nicht zu hoch sein, da dies zu einer gesteigerten Klebeigung des Kunststoffs an der Formenwand führt. Bisher wird die Temperatur in einigen Millimetern Abstand zur Grenzfläche im Werkzeug gemessen und dient nur als Stellparameter für die weitere Prozessführung. Eine schnellere und konturnahe Temperaturmessung würde die Produktion von Kunststoffteilen mit wesentlich verbesserten Produkteigenschaften erlauben.

Exakte Temperatur

Um den gestiegenen Ansprüchen neuer, hochdynamischer Spritzgießprozesse gerecht zu werden, müssen Temperatursensoren direkt auf die Werkzeugwand aufgebracht werden ohne den

Formgebungsprozess zu beeinträchtigen. Die Arbeiten des Fraunhofer IWM hierzu konzentrieren sich auf die Entwicklung von Thermoelementen, die als Dünnschicht direkt auf der Oberfläche der Werkzeuge aufgebracht werden. Die mittels PVD-Prozessen abgeschiedenen Sensoren zeichnen sich durch sehr geringe Dicken im Nanometerbereich und extrem schnelle Ansprechzeiten aus. Ihre Verwendung wird eine präzise Messung von Temperaturen mit einer hohen zeitlichen Auflösung (Abbildung 1) in der bisher nicht zugänglichen Grenzfläche von Polymerschmelze und Werkzeug ermöglichen.

Alexander Fromm



1 Messung der Temperatur im Werkzeug beim Spritzprägen (rot) und konventionelle Temperaturerfassung im Bereich der Werkzeuggewand (grün): Mit Dünnschicht-Thermoelementen wird die Temperatur praktisch ohne Trägheit erfasst.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

PULVERTECHNOLOGIE

Dr. Torsten Kraft

torsten.kraft@iw.fraunhofer.de

SINTERN DÜNNER KERAMISCHER SCHICHTEN

Bei der Herstellung strukturierter Mikrosysteme wie vollkeramischer Mikroheizelemente wird ein Pulver in einem Druckverfahren (Siebdruck oder Ink-Jet) wenige Mikrometer dick auf ein festes Substrat aufgetragen. Nach dem Trocknen und Entbindern entsteht eine poröse Partikelschicht, die beim Sintern verdichtet und dabei schrumpfen will. Durch das steife Substrat tritt jedoch eine horizontale Schwindungsbehinderung auf, und es entstehen Spannungen in der Schicht, die zu Verformungen des Bauteils oder Rissen führen können.

Simulation mit SimPARTIK

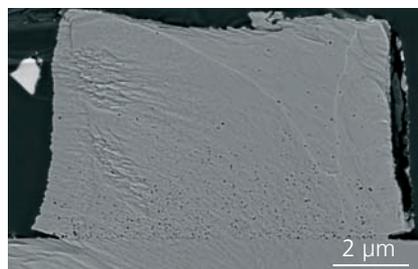
Mittels numerischer Simulation wurde am Fraunhofer IWM der Sintervorgang am Beispiel einer keramischen Schicht im Detail untersucht, um geeignete Maßnahmen zur Vermeidung dieser Defekte ableiten zu können. Dazu wurde das selbstentwickelte, partikel-basierte Simulationspaket SimPARTIK (www.simpartik.de) angewendet, das für die Untersuchung von Partikelumordnungen oder Rissentstehung auf mikroskopischer Ebene ideal geeignet ist. Dass die Simulation die Realität sehr gut wiedergibt, zeigt die Abbildung. So stimmt sowohl die Außenkontur der gesinterten Schicht als auch das vermehrte Auftreten von Poren in Substratnähe sehr gut mit dem Experiment überein. Und schließlich wird auch das Abheben des Streifens im Randbereich genau vorhergesagt. Diese Art der Simulation bietet sich also als ein leistungsfähiges Werkzeug bei der Entwicklung und Optimierung solcher Mikrosysteme an.

Variable Prozessparameter

Am Fraunhofer IWM wurden für ein Heizelement, bei dem gedruckte Streifen die Funktion elektrischer Heizleiter über-

nehmen, Geometrieparameter der Streifen in der Simulation systematisch variiert, um die Neigung zur Schichtdelamination zu untersuchen. Dabei ergab sich, dass mit zunehmender Breite die Risse im Randbereich deutlich verstärkt werden, was sich insbesondere bei thermozyklischer Belastung negativ auf die Lebensdauer auswirkt. Der Einfluss der Höhe ist dagegen weniger ausgeprägt. Da für ein funktionsfähiges Heizelement ein bestimmter Mindestquerschnitt notwendig ist, sollten deshalb sehr flache Strukturen vermieden werden. Auch zu weiteren Fragestellungen, wie dem Einfluss der Korngrößen oder der Verteilungsbreite auf die Ausbildung von Defekten, liefert die Simulation aussagefähige Ergebnisse.

Tobias Rasp



1 Vergleich zwischen Experiment (oben, Quelle: TU Darmstadt) und Simulation (unten) eines gesinterten Keramikstreifens auf festem Substrat (Querschnitt).

MODELLIERUNG VON EISEN AUF ATOMARER SKALA

Eisen und Stahl gehören nach wie vor zu den wichtigsten Werkstoffen. Ihre vielseitige Einsetzbarkeit basiert auf einem komplexen Zusammenwirken mechanischer und thermodynamischer Eigenschaften von unterschiedlichen Phasen, Korngrenzen, Versetzungen, Ausscheidungen oder Poren bis hinunter in die atomare Skala. Deren Computersimulation stellt eine extrem anspruchsvolle Aufgabe dar. Quantenmechanische first-principles-Methoden der Dichtefunktionaltheorie (DFT), die hohe Genauigkeit und Vorhersagekraft garantieren, sind nur auf kleine atomistische Modelle aus wenigen 100 Atomen anwendbar. Um Strukturdefekte aus vielen 1 000 Atomen zu untersuchen, sind klassische Simulationsmethoden mit interatomaren Potenzialen notwendig. Für Eisen gibt es schon einige Potenziale, die jedoch die Richtungsabhängigkeit chemischer Bindungen sowie den Magnetismus nicht berücksichtigen. Folglich ist eine quantitative Beurteilung von Resultaten solcher Simulationen für komplexe Defekteigenschaften von Eisen bisher oft problematisch.

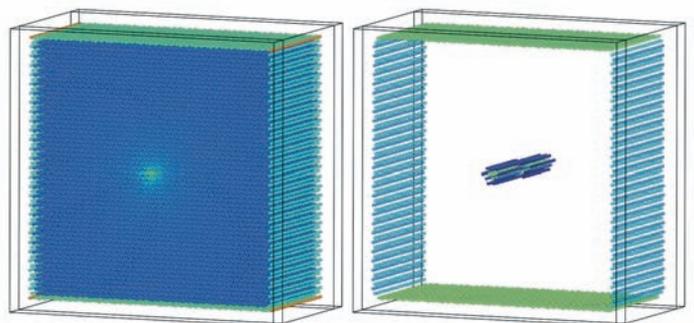
Bond-Order-Potenzial für Eisen

Am Fraunhofer IWM wurde jetzt zusammen mit der University of Oxford ein Bond-Order-Potenzial (BOP) für reines Eisen entwickelt und in ersten atomistischen Simulationen für Kristallstruktur- und -defekteigenschaften eingesetzt. BOP basieren generell auf quantenmechanischen Prinzipien und gehören zu den zuverlässigsten Modellen für interatomare Wechselwirkungen in Übergangsmetallen. Speziell für Eisen kann das neue BOP sowohl die gemischte metallisch-kovalente Atombindung als auch den Ferromagnetismus von α -Fe richtig beschreiben.

Atomistische BOP-Simulation von Eisen

Mit diesem BOP werden atomistische Simulationen von lokalen Gleichgewichtszuständen (Strukturoptimierung) und Übergangszuständen (Sattelpunktbestimmung) durchgeführt und charakteristische Defektmechanismen untersucht, beispielsweise für Versetzungen (Abbildung 1), die mit Phasengrenzen oder Fremdatomen wechselwirken. Die Simulationen zeigen, dass das BOP nicht nur verschiedene kristalline Phasen von Eisen quantitativ richtig beschreibt, sondern auch strukturelle, thermodynamische und elastische Eigenschaften von Punktdefekten, Versetzungen und Korngrenzen mit hoher Genauigkeit vorhersagt.

Dr. Matous Mrovec



1 Simulation einer Kinke auf einer Schraubversetzung in α -Fe; links ist das gesamte atomistische Modell aus etwa 70 000 Atomen dargestellt (Größe: $12 \times 12 \times 7$ nm), rechts nur Atome, die den Versetzungskern bilden und die am Modellrand auf festen Positionen sitzen, welche wiederum durch das weitreichende elastische Verzerrungsfeld der Versetzung bestimmt werden.



Kern des Geschäftsfelds ist die Bewertung der Sicherheit und Lebensdauer von Bauteilen unter den jeweiligen betriebsrelevanten Beanspruchungen. Hierzu müssen die Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur, der Beanspruchungsart (monoton, zyklisch) und der Beanspruchungsgeschwindigkeit (statisch, dynamisch) experimentell bestimmt und entsprechenden Werkstoffmodellen für die Bauteilbewertung durch numerische Simulation zugeführt werden.

Die Werkstoffmodellierung erfolgt dabei auf der Grundlage experimentell abgeleiteter und physikalisch basierter Mechanismen des Verformungs- und Versagensverhaltens der jeweiligen Werkstoffe. Neben deterministischen Konzepten werden dabei auch probabilistische Methoden entwickelt und eingesetzt, die die Streuung der Werkstoffeigenschaften und Fehlerverteilungen berücksichtigen. Für die Anwendung der entwickelten Modelle und Konzepte werden in der Regel Software-Werkzeuge entwickelt, die in der industriellen Praxis für die Bauteilbewertung eingesetzt werden.

Typische Problemstellungen sind die Sicherheits- und Lebensdauerbewertung von Kraftwerk- und Automobilkomponenten, wobei einerseits die bruchmechanisch basierte Fehlerbewertung und andererseits die Bewertung der Lebensdauer aufgrund mechanischer, thermischer und thermomechanischer Ermüdungsbeanspruchung im Vordergrund stehen. Im Automobilbereich spielt zusätzlich die Crashesicherheit eine zentrale Rolle. Für Automobil-relevante Werkstoffe und Fügeverbindungen werden entsprechende Versagensmodelle entwickelt, an Versuchen validiert und den Industriekunden für deren spezielle Anwendungen zur Verfügung gestellt.

Bemerkenswertes aus 2010

Für die Analyse der Versagenswahrscheinlichkeit von Kraftwerkkomponenten wurden im Berichtsjahr lokale Versagensmodelle weiterentwickelt. Die Modelle berechnen auf Basis von probabilistisch formulierten Werkstoffeigenschaften sowie Spannungs- und Dehnungsfeldern aus Finite-Elemente-Analysen die Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauteils. Die Modelle wurden an Experimenten validiert und bereits für die Sicherheitsbewertung von Anlagen eingesetzt.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Weiterentwicklung von Lebensdauermodellen für Komponenten unter thermomechanischer Wechselbeanspruchung. Untersuchungsschwerpunkt war die thermische Ermüdung mit überlagerter hochfrequenter Wechselbeanspruchung. Die Modelle sind an verschiedenen Bauteilversuchen validiert und werden bereits vielfach in der industriellen Praxis angewendet.

Für die Crashesimulation von Fügeverbindungen wurden Ersatzmodelle auf Basis von Ergebnissen aus detaillierten Analysen von Verbindungen weiterentwickelt. Die Ersatzmodelle wurden durch die detaillierte Simulation der im Crash auftretenden Verformungs- und Versagensvorgänge abgeleitet und erzielen bei vertretbaren Rechenzeiten eine sehr gute Vorhersagekraft.

Gruppe

Anlagensicherheit, Bruchmechanik

Mit experimentellen und rechnerischen Methoden, insbesondere der Bruch- und Schädigungsmechanik, wird das Werkstoff- und Bauteilverhalten analysiert und die Sicherheit und Verfügbarkeit von Komponenten bewertet.

Dr. Dieter Siegele
dieter.siegele@iwf.fraunhofer.de

Gruppe

Crashsicherheit, Schädigungsmechanik

Für die Crashsimulation werden Werkstoffmodelle entwickelt, implementiert und angewendet. Werkstoffcharakterisierung und Bauteilprüfung werden mit speziellen Versuchstechniken durchgeführt. Fügeverbindungen werden unter crashrelevanter Belastung charakterisiert und mit Ersatzmodellen simuliert.

Dr. Dong-Zhi Sun
dong-zhi.sun@iwf.fraunhofer.de

Gruppe

Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik

Mechanismenbasierte Werkstoffmodelle ermöglichen verlässliche Vorhersagen in Bauteilsimulationen. So können Entwicklungskosten und -zeit eingespart und gleichzeitig die Bauteilqualität erhöht werden.

Dr. Thomas Seifert
thomas.seifert@iwf.fraunhofer.de



Dr. Dieter Siegele
Geschäftsfeldleiter

ERMÜDUNG VON WARMFESTEN ALUMINIUMLEGIERUNGEN IM GRIFF

Als Werkstoff für Radialverdichterräder in Abgasturboladern von PKW-, LKW- und Großmotoren wird derzeit standardmäßig eine warmfeste Aluminiumlegierung vom Typ 2618 eingesetzt. Da die zukünftigen Anforderungen mit höheren Umfangsgeschwindigkeiten und Verdichtertemperaturen einhergehen, wird der Werkstoff höher belastet als bisher. Daher werden Berechnungsmodelle benötigt, die es erlauben, bereits im Entwurfsstadium die Ermüdung rechnerisch vorherzusagen, um die Komponenten schnell und kostengünstig im Hinblick auf Materialeinsatz und Lebensdauer optimieren zu können.

Bisher werden in der industriellen Auslegungspraxis typischerweise Spannungen und Dehnungen im Bauteil über linear-elastische Finite-Elemente-Berechnungen bestimmt. Die Lebensdauerabschätzung basiert oftmals auf empirischen Totaldehnungs- oder Bauteil-Wöhlerlinien. Diese Bewertungsmethode berücksichtigt jedoch nicht den Einfluss lokaler plastischer Verformungen und zeitabhängiger Phänomene wie Spannungsrelaxation. Zudem können die empirischen Lebensdauermodelle den Einfluss von Mittelspannungen, Spannungsmehrachsigkeit und Temperatur auf das Ermüdungsrisswachstum nicht abbilden.

Berechnungsmodelle für Plastizität und Lebensdauer vorhersage

Im Forschungsvorhaben Aluminium-Radialverdichterräder der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) wurde am Fraunhofer IWM ein Modell zur Beschreibung der zeitabhängigen Plastizität und ein bruchmechanisch begründetes Lebensdauermodell entwickelt. Das Plastizitätsmodell kann durch die Kombination des Chaboche- und des Jiang-Modells neben der zyklischen Plastizität und der Spannungsrelaxation

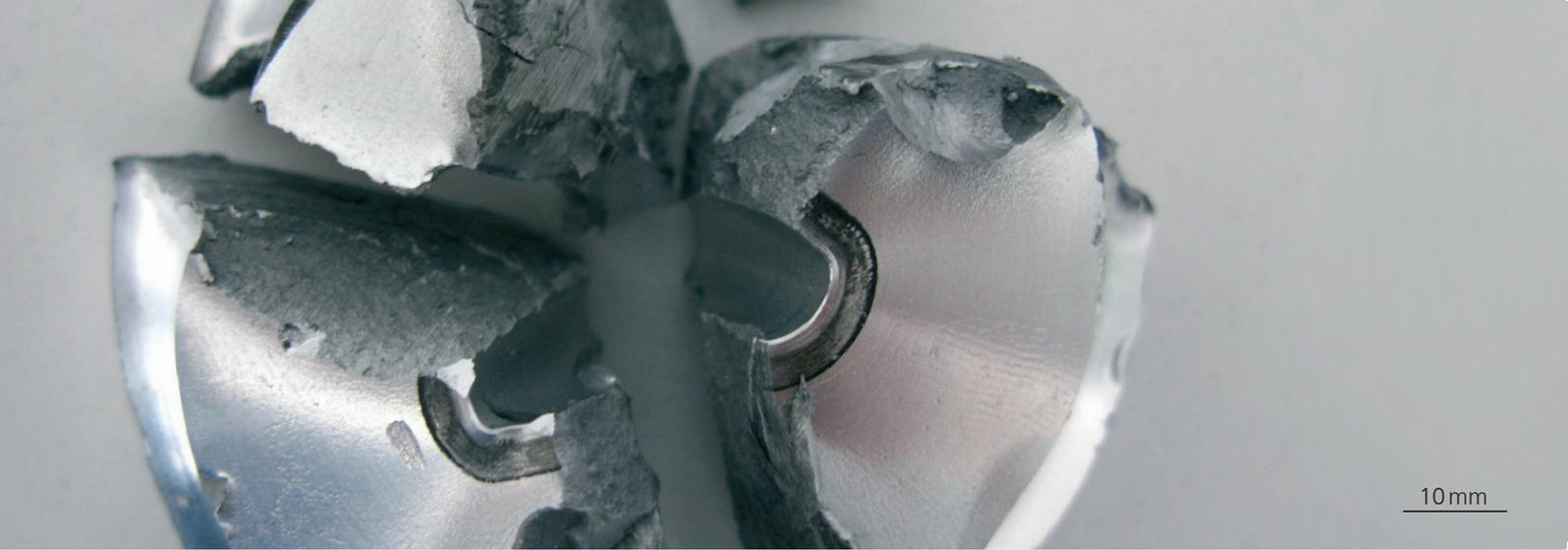
auch Ratchetting (zyklisches Werkstoffverhalten bei Mittelspannung beziehungsweise Mitteldehnung) beschreiben. Das entwickelte Lebensdauermodell geht davon aus, dass die Rissöffnung das Risswachstum und damit die Lebensdauer bestimmt. Die Rissöffnung bei mehrachsiger Belastung wird mit der elastisch-plastischen Bruchmechanik abgeschätzt und enthält den Risschließterm nach Newman, welcher Mittel- und Maximalspannungseffekte berücksichtigt.

Beide Modelle wurden an eine breite Versuchsdatenbasis der Aluminiumlegierung vom Typ 2618, die am Karlsruher Institut für Technologie KIT im Rahmen des Forschungsvorhabens ermittelt wurde, angepasst. Alle gemessenen Lebensdauern der Ermüdungsversuche fallen unabhängig von der Temperatur und Mitteldehnung in ein enges Streuband um die Modellgerade (Abbildung 1).

Anwendung auf Komponenten

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden das Plastizitäts- und Lebensdauermodell in die kommerziellen Finite-Elemente-Programme ABAQUS und ANSYS implementiert, so dass die Modelle auf Komponenten angewendet werden können. Die Implementierungen stehen den Mitgliedern der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) kostenlos zur Verfügung.

Bei Voith Turbo Aufladungssysteme GmbH & Co. KG wurde eine einem Radialverdichterrad ähnliche Komponente im Schleuderversuch bis zum Versagen geprüft. Die Komponente wurde zyklisch zwischen 10 000 und 200 000 Umdrehungen pro Minute belastet. Die ermittelte Lebensdauer der



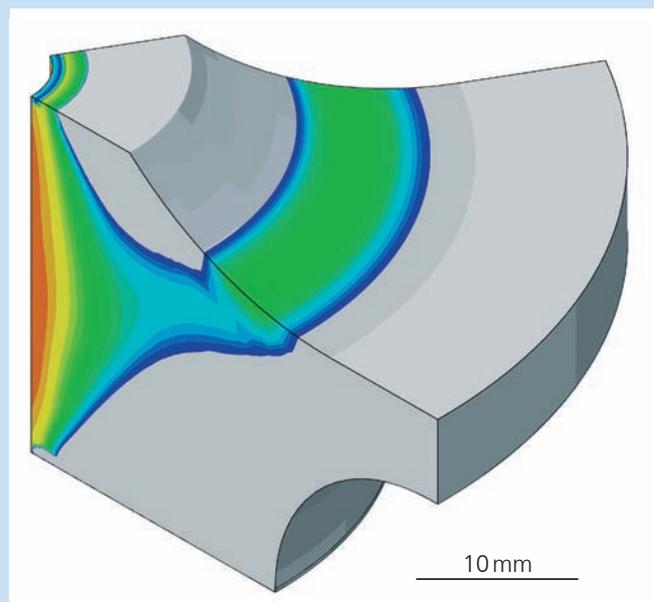
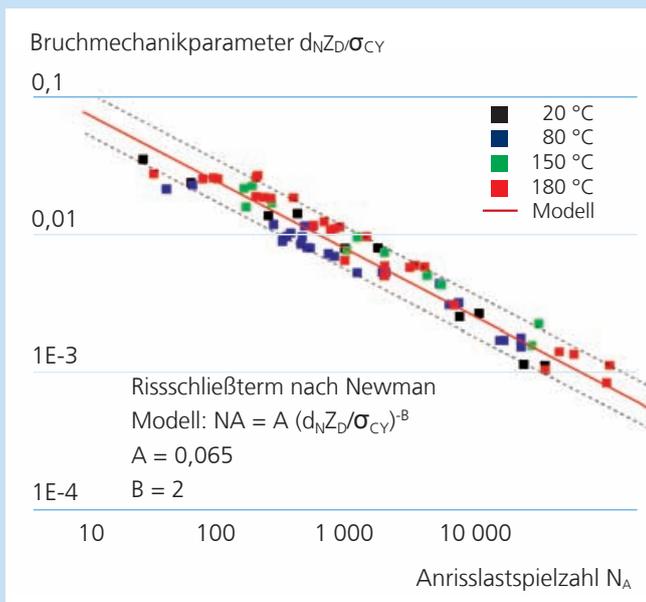
Nach dem Schleuderversuch: Die bauteil-
ähnliche Komponente ist geborsten.

Foto: Voith Turbo

Komponente betrug 5 550 Zyklen bis zum Versagen. Die rechnerische Lebensdauervorhersage mit den am Fraunhofer IWM entwickelten Berechnungsmodellen betrug 6 250 Zyklen bis zum Versagen und stimmt sehr gut mit dem Ergebnis aus dem Schleuderversuch überein (Abbildung 2). Mit den neuen Berechnungsmodellen kann das Design von Komponenten im Computer optimiert und neue Designvarianten schnell

analysiert werden. Die Anzahl an kosten- und zeitintensiven Komponentenversuchen kann somit eingespart, die Entwicklungszeit verkürzt und gleichzeitig die Lebensdauer erhöht werden.

Philipp von Hartrott, Christoph Schweizer



1 Das erweiterte Modell beschreibt die Anrisslastspielzahl der Versuche unabhängig von Temperatur und Mitteldehnung in einem Streuband von zirka Faktor zwei.

2 Finite-Elemente-Modell der bauteilähnlichen Komponente. Die rote Färbung kennzeichnet Bereiche, in denen Ermüdungsrisse zu einer kurzen Lebensdauer führen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

ANLAGENSICHERHEIT, BRUCHMECHANIK

Dr. Dieter Siegele

dieter.siegele@iwf.fraunhofer.de

PROBABILISTISCHE FEHLERBEWERTUNG VON ROHRLEITUNGEN

Probabilistische Bewertungsmethoden spielen eine zunehmend wichtige Rolle bei Festigkeitsnachweisen von sicherheitsrelevanten Komponenten, beispielsweise bei Rohrleitungen von Kernkraftwerken oder Radsatzwellen im Schienenverkehr. Im Gegensatz zum herkömmlichen deterministischen Ansatz erfasst eine probabilistische Analyse alle streuenden, unsicheren Eingangsparameter entsprechend ihrer gegebenen oder angenommenen statistischen Verteilung. Zudem quantifiziert sie deren Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

Kleine Versagenswahrscheinlichkeiten

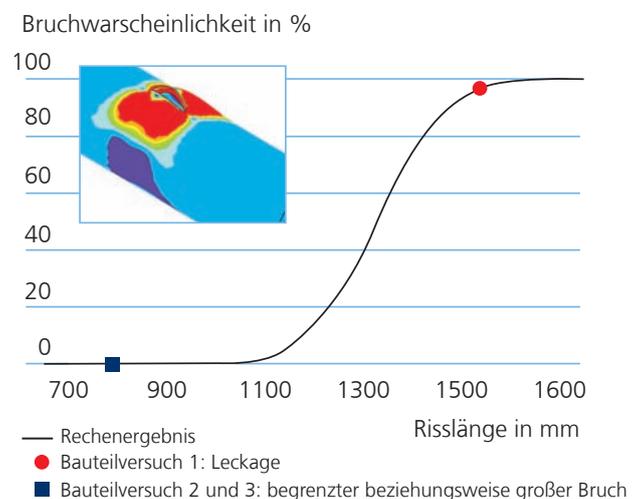
Am Fraunhofer IWM wurden Methoden der probabilistischen bruchmechanischen Berechnungen weiterentwickelt und in einem Bewertungstool für Anwendungen auf fehlerbehaftete Rohrleitungen umgesetzt. Insbesondere wurden die Effizienz und Robustheit von Berechnungsalgorithmen für die Ermittlung von sehr kleinen Versagenswahrscheinlichkeiten, die als Voraussetzung für einen sicheren Betrieb erforderlich sind, untersucht und verbessert. Zudem wurden statistische Prozeduren entwickelt, um streuende Risswiderstandskurven und Schweißbeigenspannungen sowie deren Berücksichtigung in bruchmechanischen Analysen zu beschreiben. Die Ansätze wurden validiert durch Nachrechnen von in der Literatur dokumentierten Berstversuchen an ferritischen und austenitischen Rohrleitungen.

Realitätsnahe Bewertung

Die Abbildung zeigt ein Beispiel für ferritische Rohre mit axialen, außen liegenden Oberflächenfehlern unterschiedlicher Anfangslänge. Je nach Fehlergröße ergab sich experimentell

ein Bauteilversagen entweder durch Leckage (Risslänge von 782 mm) oder begrenzten, großen Bruch (zwei Versuchskörper mit gleicher Risslänge von 1500 mm). Dieses Versagensverhalten wird durch die errechneten Bruchwahrscheinlichkeiten von zirka 0 Prozent beziehungsweise 96 Prozent widerspiegelt. Das entwickelte Bewertungstool ermöglicht insgesamt eine realitätsnahe Bewertung der Versagenswahrscheinlichkeit und des Leck-vor-Bruch-Verhaltens von druckbelasteten Komponenten. Es ist zudem in der Lage, die Sicherheitsmargen bisheriger deterministischer Analysen zu quantifizieren.

Dr. Igor Varfolomeev



1 Numerisch ermittelte Bruchwahrscheinlichkeit eines ferritischen Rohrs im Vergleich zu Ergebnissen von Berstversuchen.

CHARAKTERISIERUNG UND MODELLIERUNG VON THERMOPLASTEN

Der zunehmende Einsatz von Polymerwerkstoffen im Automobilbau erfordert eine zuverlässige Beschreibung des Verformungs- und Versagensverhaltens für die Crashesimulation. Da das Materialverhalten eines Kunststoffes stark von der Dehnrates, der Temperatur und der Belastungssituation abhängt, ist eine systematische Charakterisierung und Modellierung dieser Effekte für die Komponentenmodellierung unverzichtbar.

Dehnraten- und Temperaturabhängigkeit

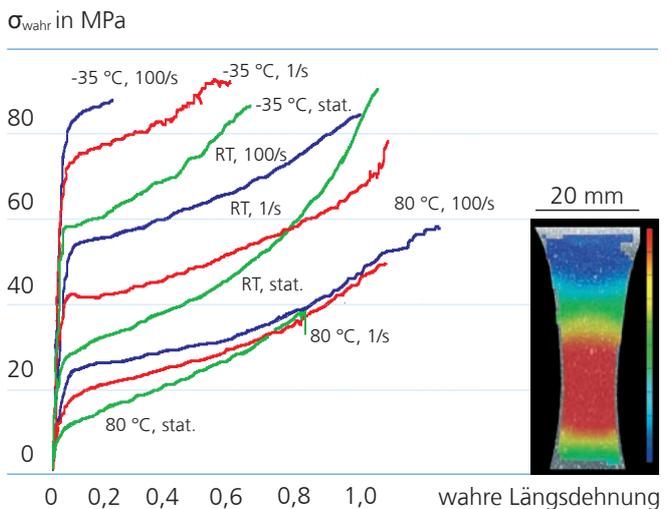
Zugversuche an Thermoplasten mit unterschiedlichen Festigkeiten wurden unter drei Dehnrates (quasistatisch, 1/s und 100/s) und bei drei unterschiedlichen Temperaturen (-35°, Raumtemperatur und 80 °C) durchgeführt. Dabei wurden wahre Spannungen, wahre Dehnungen und die Querkontraktion mit Hilfe optischer lokaler Dehnungsmessung ermittelt.

Abbildung 1 zeigt für einen Thermoplast die Dehnrates- und Temperaturabhängigkeit der wahren Spannungs-Dehnungskurve. Mit zunehmender Dehnrates und abnehmender Temperatur steigt die Fließspannung drastisch und die Bruchdehnung nimmt tendenziell ab. Bei -35° und einer Dehnrates von 100/s sinkt die Bruchdehnung auf 10 Prozent des entsprechenden Werts bei Raumtemperatur. Die Fließspannung der Thermoplaste hängt neben der Temperatur auch stark von der Belastungssituation ab. Bei dem geprüften Thermoplast ist die Fließspannung unter Druckbelastung um 60 Prozent höher als die unter Zugbelastung. Untersuchungen an Proben mit Bindaht zeigen, dass die Bruchdehnungen der Bindaht der untersuchten Thermoplaste nur im Bereich von 5 bis 15 Prozent der Werte der Proben ohne Bindaht liegen.

Werkstoffmodelle für Polymere

Die Softening-Effekte nach Fließbeginn und die Temperaturabhängigkeit des Deformationsverhaltens konnten mit einem Standardwerkstoffmodell in Crashcodes für Polymere nicht zufriedenstellend berechnet werden. Deswegen wurde am Fraunhofer IWM ein erweitertes Boyce-Modell eingesetzt. Dabei wurde die Reduzierung des intermolekularen Scherwiderstands durch ein Evolutionsgesetz beschrieben und die Temperaturabhängigkeit des intramolekularen Widerstands erweitert. Mit diesem Modell konnten die Experimente gut beschrieben werden.

Dr. Dong-Zhi Sun



1 Dehnrates- und Temperaturabhängigkeit der wahren Spannungs-Dehnungskurve für einen Thermoplast (links) mit einer Verteilung der wahren Längsdehnung aus einer optischen Messung (rechts), blau = 0 Prozent, rot = 100 Prozent.

Wir unterstützen unsere Auftraggeber bei der Auswahl und Substitution von Werkstoffen, bei der Bewertung und Optimierung von Fertigungsschritten und bei der Charakterisierung des Festigkeits- und Einsatzverhaltens von Werkstoffen, Werkstoffverbunden und Bauteilen. Die Simulation und experimentelle Aufklärung der Mikrostruktur von Werkstoffen, deren Veränderung durch beispielsweise formgebende Verfahren oder thermisches Fügen oder durch die Betriebsbeanspruchungen stehen im Fokus der Arbeiten. Es werden Lösungsvorschläge zum Design, zur Beeinflussung des Eigenspannungszustandes und zur Optimierung der Herstellungs- und Beanspruchungsbedingungen erarbeitet.

Die schädigungsfreie Formgebung und Umformung schwer verformbarer Metalle profitiert von der mikrostrukturbasierten Simulation der Gefüge- und Schädigungsentwicklung bei diesen Prozessen. Für die Bewertung von Schadensfällen steht auch ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger zur Verfügung.

Bemerkenswertes aus 2010

Im Rahmen verschiedener Projekte konnte auf Basis der Kristallplastizität die numerische Beschreibung des mechanischen Verhaltens von Vielkristallen für umformtechnische Fragestellungen etabliert werden. In einem BMBF-Projekt wurde die Prozesskette von Dualphasenstählen mit den Konzepten der Kristallplastizität abgebildet, mit einem »virtuellen Labor« die Materialeigenschaften vorausberechnet und dann mit phänomenologischen Materialmodellen komplexe Blechumformprozesse berechnet.

Die immer weiter steigenden Anforderungen an die Simulation des Werkstoff- und Bauteilverhaltens verlangen präzise und für

die Simulation aufbereitete Aussagen der Mikrostrukturanalyse. Darauf reagierten wir mit einem weiteren personellen Ausbau des Teams Mikrostrukturanalyse sowie Investitionen in den Neuaufbau unserer Labors für Untersuchungen zur Wasserstoffversprödung, Wärmebehandlung und experimentellen Simulation thermomechanisch beeinflusster Gefügezustände.

Gruppe

Mikrostruktur- und Schadensanalyse

Wir betreiben als neutraler und kompetenter Partner mit unserem akkreditierten Laborbereich ganzheitliche Ursachenforschung über alle relevanten Fertigungsstufen. Schwerpunkte der mittel- und langfristigen Forschungsarbeiten ist die Qualifizierung hochfester Werkstoffe hinsichtlich Wasserstoffversprödung und Spannungsrisskorrosion sowie die experimentelle Charakterisierung und numerische Beschreibung von Phasenbildungsprozessen.

Dr. Wulf Pfeiffer

wulf.pfeiffer@iw.fraunhofer.de

Gruppe

Ermüdungsverhalten, Eigenspannungen

Der Leistungsbereich entwickelt experimentelle und numerische Methoden zur Festigkeitsbewertung hochbelasteter Werkstoffe, Bauteile und Fügeverbindungen und Verfahren zur Beeinflussung des Eigenspannungszustandes.

Dr. Michael Luke

michael.luke@iw.fraunhofer.de

Gruppe

Verbundwerkstoffe

Wir untersuchen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Verbundwerkstoffen mit Polymer-, Keramik- und Metall-Matrizen, um ihr Einsatz- und Versagensverhalten zu bewerten. Unsere werkstoffgerechten Prüfkonzepte sowie die neu entwickelten Werkstoff- und Schädigungsmodelle berücksichtigen die Materialstruktur und die realen Beanspruchungsbedingungen.

Dr. Bärbel Thielicke

baerbel.thielicke@iw.fraunhofer.de

Gruppe

Formgebungs- und Umformprozesse

Umformwerkzeuge und -prozesse können mit Hilfe der numerischen Simulation wesentlich schneller und kostengünstiger ausgelegt werden als durch Versuch und Irrtum. Dafür werden Modelle zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens entwickelt und auf industrielle Prozesse angewandt.

Dr. Dirk Helm

dirk.helm@iw.fraunhofer.de



Dr. Wulf Pfeiffer
Geschäftsfeldleiter

EFFIZIENTE SCHWEISSIMULATION GROSSER STRUKTUREN

Aufgrund der lokalen Wärmewirkung des Schweißens entstehen Verzüge und Eigenspannungen am Werkstück. Diese sind mit numerischen Schweißsimulationen nach der Methode der Finiten Elemente nur erfolgreich berechenbar, wenn die Temperaturfelder im Modell – mit einer Ersatzwärmequelle aufgebracht – korrekt beschrieben werden können. Es ist wichtig, den aus Versuchen und Berechnungen festgestellten Energieeintrag in das Bauteil im numerischen Modell anzupassen. Der Zeitaufwand zur Anpassung dieses Parameters ist jedoch sehr hoch. Er übersteigt häufig die Rechenzeiten, die zur Berechnung von Temperaturfeldern, Verzug und Eigenspannungen in der heutigen Schweißsimulation nötig sind.

Das Modell-Temperaturfeld

Die Berechnung des Modell-Temperaturfelds, das benötigt wird, um anschließend den Verzug und die Eigenspannungen gefügter Bauteile zu bestimmen, wird zum Beispiel mit einer Ersatzwärmequelle durchgeführt. Mit ihr wird der Energieeintrag berechnet. Die Validierung des Energieeintrags erfolgt mit experimentell ermittelten Temperatur-Zeit-Verläufen. Große Strukturen können mit Hilfe der numerischen Schweißsimulationen effizient berechnet werden, wenn die Temperaturfeldberechnung mit zwei einfach zu verwirklichenden Ansätzen durchgeführt wird:

- Die Modellgröße wird im Vergleich zum Gesamtmodell auf das Wesentliche reduziert.
- Die Anpassung des Energieeintrags erfolgt mit Vorgabe der Spitzentemperatur eines gemessenen Temperatur-Zeit-Verlaufs und einer entwickelten Routine zur Anpassung des Energieeintrags.

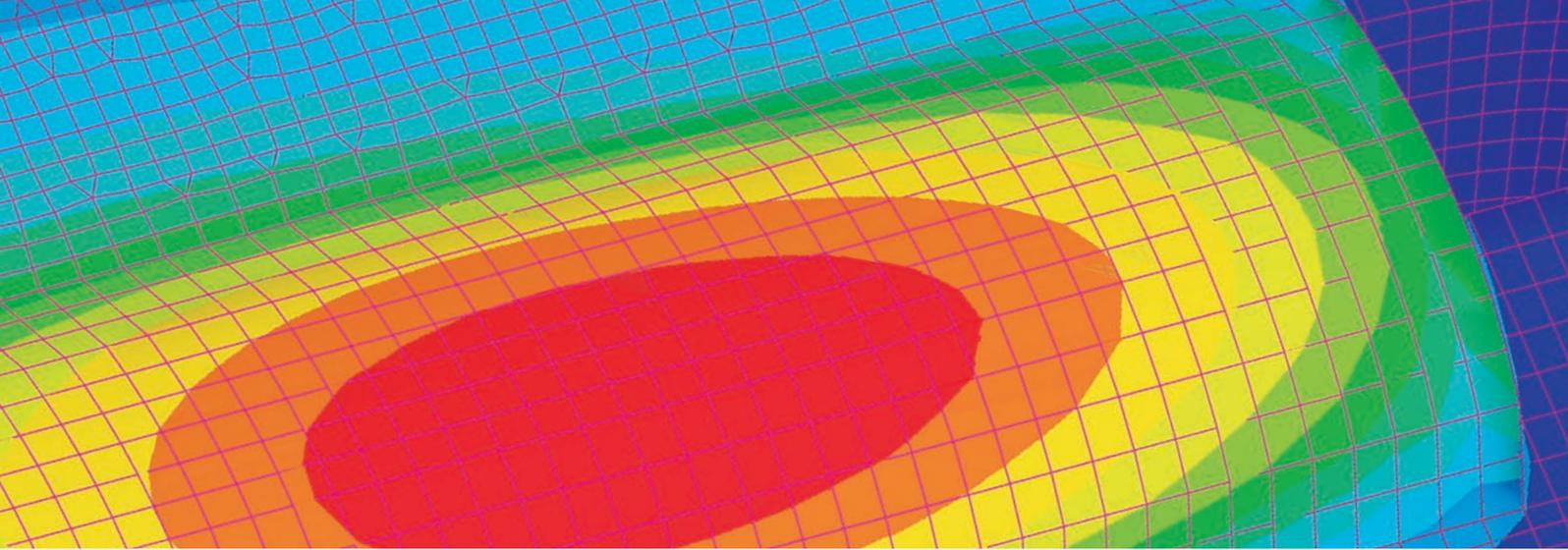
Gesamtmodell versus reduziertes Modell

Der Vergleich der berechneten Temperatur-Zeit-Verläufe zwischen dem Gesamtmodell und dem reduzierten Modell zeigt: Die Bereiche der Aufheizung und die Spitzentemperatur werden nicht von der Modellgröße beeinflusst (Abbildung 2). Abbildung 1 zeigt beide Modelle im Vergleich.

Der Energieeintrag in das Bauteil kann auch alternativ mit der Spitzentemperatur eines Temperatur-Zeit-Verlaufs beschrieben werden. Er lässt sich am reduzierten Modell bestimmen und ohne Änderung auf das Gesamtmodell übertragen.

Schnellere Anpassung

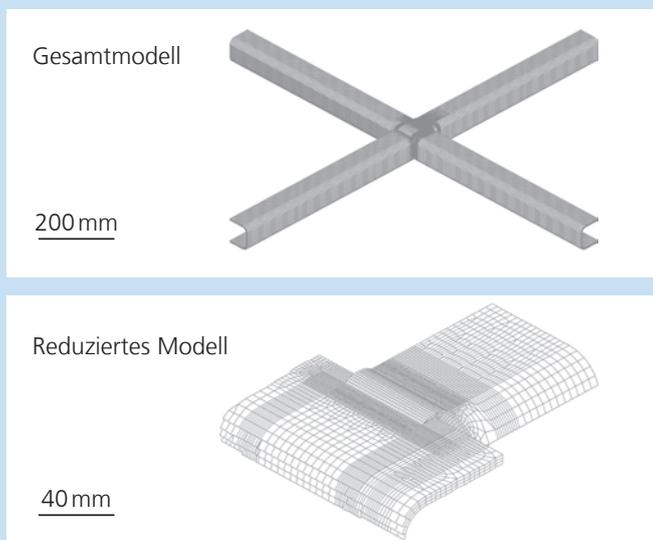
Abhängig von den thermophysikalischen Materialdaten und den geometrischen Parametern der Ersatzwärmequelle zur Abbildung des Energieeintrags während des Schweißens lässt sich eine hinreichend genaue Temperaturfeldberechnung durchführen. Der Parameter »Energieeintrag« kann auf einfache Weise mit einer am Fraunhofer IWM entwickelten Routine bestimmt werden. Dieses Verfahren benötigt nur kurze Rechenzeiten. Voraussetzung ist jedoch, dass die Modellgröße auf das Wesentliche reduziert wird. So ist es möglich, die Anpassung des Energieeintrags an große Strukturen innerhalb weniger Stunden zu errechnen, ohne dass die Aufmerksamkeit der Anwenderinnen und Anwender davon in Anspruch genommen wird. Die vorliegende Anpassung wurde in einer Stunde erreicht. Ergänzend wurden Solvareinstellungen, Vernetzungsstrategien und Shell-Solid-Kopplungen untersucht.



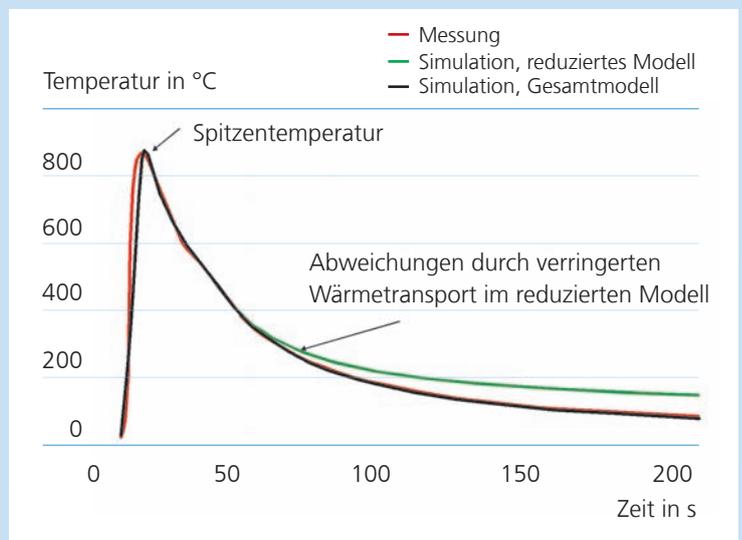
Temperaturverteilung durch bewegte Ersatzwärmequelle.

Für die Anpassung von Temperatur-Zeit-Verläufen stellt der Energieeintrag den wichtigsten Parameter bei der Definition der Ersatzwärmequelle dar. Darüber hinaus müssen auch die geometrischen Parameter der Ersatzwärmequelle definiert werden. Diesbezüglich wird die bereits zur Verfügung stehende Routine derzeit erweitert. Mit dem Makroschliffbild einer Schweißnaht und einem Temperatur-Zeit-Verlauf als Eingangsdatensatz soll künftig die Temperaturfeldberechnung auch für Anwenderinnen und Anwender ohne langjährige Erfahrungen zeitnah durchführbar werden.

Marcus Brand



1 Gesamtmodell versus reduziertes Modell.



2 Vergleich von gemessenen und mit verschiedenen großen Modellen berechneten Temperatur-Zeit-Verläufen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

FORMGEBUNGS- UND UMFORMPROZESSE

Dr. Dirk Helm

dirk.helm@iwm.fraunhofer.de

MEHRSKALIGE PROZESSKETTENSIMULATION VON DUALPHASENSTÄHLEN

Bei der Entwicklung und Optimierung neuartiger Blechwerkstoffe besteht großer Bedarf, sowohl das Bauteilverhalten als auch den Herstellungsprozess durch geeignete Simulationsmodelle zugänglich zu machen. Aufwändige Versuche nach dem Prinzip »Versuch und Irrtum« sollen damit auf ein Minimum reduziert werden. Im Rahmen eines Verbundprojektes wurde in Zusammenarbeit mit mehreren Projektpartnern eine durchgängige Simulationsstrategie zur Abbildung der Prozesskette eines Dualphasenstahls entwickelt. Beginnend beim Warmband über das Kaltwalzen, die Wärmebehandlung und die Blechumformung, bis hin zum Crashverhalten des fertigen Bauteils werden hierbei alle wesentlichen Prozessschritte betrachtet. In Abhängigkeit vom jeweiligen Prozessschritt werden dabei unterschiedliche Simulationswerkzeuge auf verschiedenen Größenskalen benötigt, um die jeweils relevanten Aspekte eines Prozessschrittes optimal abzubilden.

Ein entscheidendes Merkmal der hier entwickelten, durchgängigen Simulationsstrategie besteht darin, dass die Simulationsergebnisse eines Prozessschrittes als Eingangsgrößen in der nachfolgenden Simulation berücksichtigt werden. Das Fraunhofer IWM arbeitet an der Simulation des Kaltwalzens, der virtuellen Kennwertermittlung sowie an der Entwicklung der Datentransferstruktur.

Simulation des Kaltwalzens

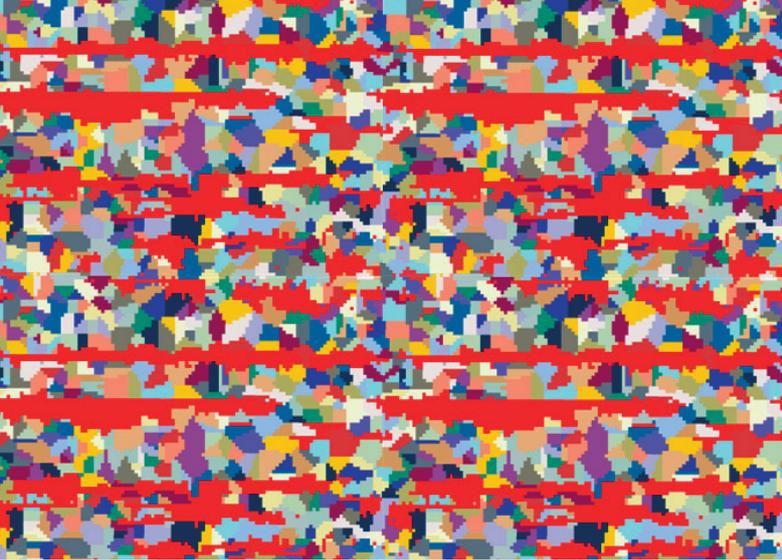
Um die Entwicklung der Materialeigenschaften während des Kaltwalzens vorherzusagen, muss die Mikrostruktur des Werkstoffs in dem Simulationsmodell berücksichtigt werden. Die hierfür verwendeten Einheitszellen-Modelle bilden die Kornstruktur einschließlich Kornorientierung sowie die Verteilung der beiden Gefügebestandteile des Warmbands ortsaufgelöst ab.

Die mit steigendem Walzgrad zunehmende Verfestigung des Werkstoffs ist für die nachfolgende Wärmebehandlungssimulation eine wichtige Größe. Um die Vorhersagegenauigkeit der Kaltwalzsimulation zu überprüfen, wurden an den gewalzten Einheitszellen Zugversuche simuliert. Die daraus resultierenden Spannungs-Dehnungskurven sind mit den experimentellen Zugversuchen am kaltgewalzten Blech für alle drei Walzgrade in sehr guter Übereinstimmung (Abbildung 1).

Mit dem entwickelten Simulationsmodell können sehr einfach die Prozessparameter beim Kaltwalzen variiert und deren Einfluss auf die nachfolgende Wärmebehandlung mittels durchgängiger Prozesskettensimulation bewertet werden.

»Virtuelles Labor«

Zur Simulation der nachfolgenden Prozessschritte »Umformen« und »Crash« sind Einheitszellen-Modelle aufgrund der damit verbundenen hohen Rechenzeit ungeeignet. Darum erfolgt ein Wechsel von der Mikro- auf die Makroskala, in der das Material als homogenes Kontinuum abgebildet wird. Die Bestimmung der makroskopischen Eigenschaften basiert auf den Einheitszellen der Mikrostruktur des Dualphasenstahlgefüges, welches aus der Wärmebehandlungssimulation resultiert. Mit dem »virtuellen Labor« lassen sich beliebige Belastungszustände auf das Einheitszellen-Modell aufbringen – auch solche, die versuchstechnisch nicht realisierbar wären. Durch entsprechende Homogenisierungsverfahren können daraus makroskopische Größen, beispielsweise Spannungs-Dehnungskurven oder r-Werte, berechnet werden. Diese Größen werden – analog zu experimentellen Daten – zur Anpassung der Materialmodelle für die Umformsimulation eingesetzt.

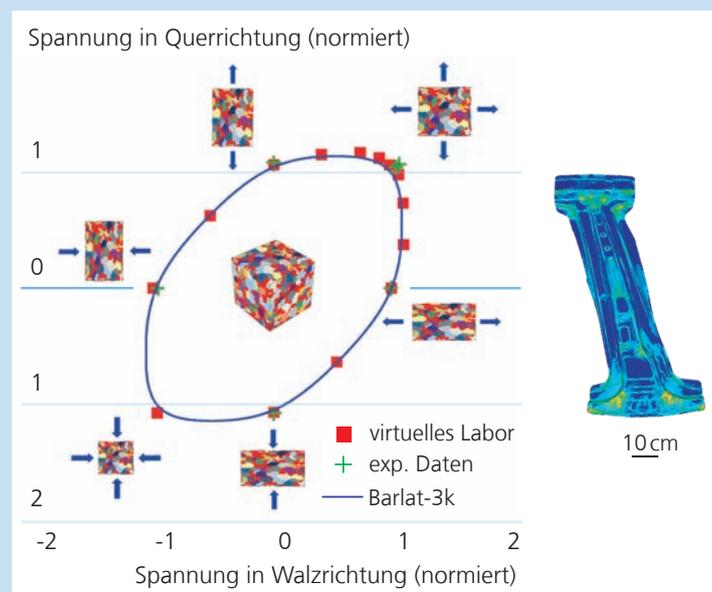
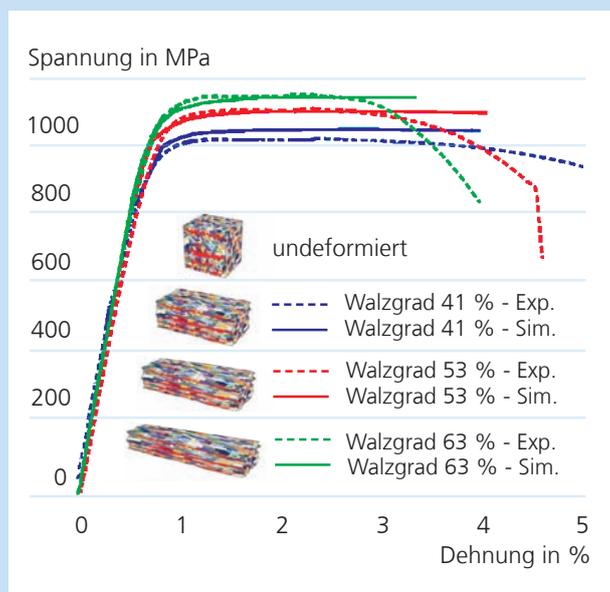


Generierte Mikrostruktur des Warmbandes unter Berücksichtigung der statistischen Phasenverteilung des realen Werkstoffs.

In Abbildung 2 links ist der Beginn des plastischen Fließens in Abhängigkeit vom Belastungszustand in Form einer Fließortskurve dargestellt. Der Vergleich mit den verfügbaren experimentellen Daten zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

Die beschriebene Vorgehensweise ermöglicht es, unterschiedliche numerische Modelle auf verschiedenen Größenskalen miteinander zu verbinden, und ist somit ein vielversprechender Ansatz für die durchgängige Prozesskettensimulation.

Dr. Alexander Butz



1 Vergleich der Spannungs-Dehnungskurven des walzharten Kaltbandes aus Versuch und Simulation. Zudem: Einheitszellen-Modelle der Warmband-Mikrostruktur im Ausgangszustand und nach dem Walzen, bestehend aus Perlitbändern (rot) und Ferritkörnern.

2 Links: Bestimmung des Fließbeginns des Dualphasenstahls für unterschiedliche Belastungszustände mit dem »virtuellen Labor«. Rechts ein Anwendungsbeispiel: Simulation des Umformprozesses einer B-Säule mit den Daten aus dem virtuellen Labor (© Daimler AG).

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

MIKROSTRUKTUR- UND SCHADENSANALYSE

Dr. Wulf Pfeiffer

wulf.pfeiffer@iwf.fraunhofer.de

CHARAKTERISIERUNG VON LASER-UMGESCHMOLZENEN STAHL-OBERFLÄCHEN

Das Strukturieren von Randschichten durch Laserumschmelzen ist ein neuer Ansatz zur Strukturierung metallischer Oberflächen. Dabei wird Material umverteilt statt abgetragen.

Potenzielle Anwendungen liegen zum Beispiel im Werkzeug- und Formenbau, wo dieses Verfahren eine ökonomische, schnelle und umweltschonende Alternative zu mechanisch oder chemisch abtragenden Verfahren darstellen kann. Ziel eines von der VW-Stiftung geförderten Gemeinschaftsprojekts der RWTH Aachen (Lehrstuhl für Lasertechnik und Lehrstuhl für Technologie optischer Systeme) und des Fraunhofer IWM ist die Ausnutzung der Vorteile dieses Verfahrensprinzips für die industrielle Fertigung. Dazu werden in Aachen die Prozessgrundlagen untersucht und die Anlagentechnik entwickelt.

Variable Eigenschaften des Werkzeugstahls

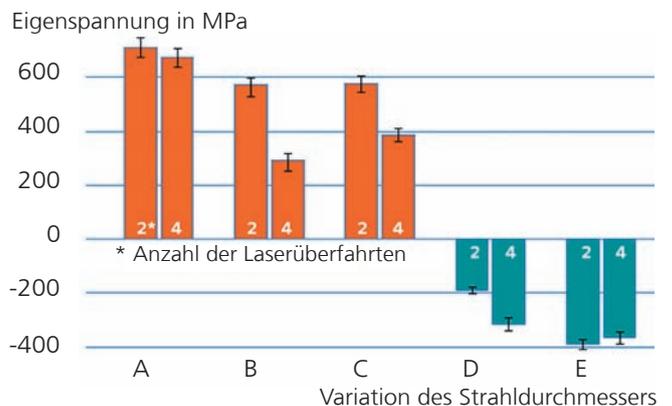
Während des Laserumschmelzens kommt es bei dem hier verwendeten Werkzeugstahl zu einer komplexen Überlagerung von Umwandlungs- und Anlassvorgängen. Diese führen zu starken Gefüge- und damit Eigenschaftsgradienten innerhalb der umgeschmolzenen Randschicht und der anschließenden Wärmeeinflusszone. Durch Änderung der Prozessparameter können Mikrostruktur und Eigenschaften in weiten Bereichen variiert werden.

Aufgabe des Fraunhofer IWM ist die Charakterisierung dieser laserstrukturierten sowie laserpolierten Oberflächen hinsichtlich mikrostruktureller Charakteristika und ihrer Gebrauchseigenschaften.

Optimierung Laserparameter

Untersucht werden unter anderem die Gefügeentwicklung mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskopie. Durch instrumentierte Eindringprüfung am Nanoindenter werden lokale Härteänderungen erfasst. Mittels Röntgenbeugung werden Eigenspannungen und Restaustenitgehalte in den Oberflächen bestimmt. So wurde gezeigt, dass die Optimierung der Laserparameter einen Wechsel von ungünstigen Zugeigenspannungen zu günstigen Druckeigenspannungen erlaubt (Abbildung 1). Emissionsspektroskopische Tiefenprofile erfassen Änderungen in der chemischen Zusammensetzung innerhalb der Randschicht. Das Verschleißverhalten wird in tribologischen Tests charakterisiert. Aus den Untersuchungsergebnissen werden Schlussfolgerungen für die Optimierung der Prozessparameter abgeleitet.

Sabine Oeser, Wulf Pfeiffer



1 Eigenspannungen in laserumgeschmolzenen Stahl-oberflächen in Abhängigkeit von den Prozessparametern.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

VERBUNDWERKSTOFFE

Dr. Bärbel Thielicke

baerbel.thielicke@iwf.fraunhofer.de

3-D-STRUKTURANALYSE UND MODELLIERUNG VON VERBUNDWERKSTOFFEN

Viele Verbundwerkstoffe weisen eine komplexe Struktur auf, die nur in drei Dimensionen realitätsgetreu beschrieben werden kann. Darüber hinaus spielen die Grenzflächen zwischen den einzelnen Phasen eine entscheidende Rolle für das Verhalten dieser Werkstoffe. Dementsprechend können die Eigenschaften und das Verhalten von Verbundwerkstoffen im Anwendungsfall oft nur mittels Finite-Elemente-Methode modelliert werden. Die Erstellung von realitätsnahen FE-Netzen aus bekannten mikrostrukturellen Parametern kann jedoch sehr zeitaufwändig sein. Am Fraunhofer IWM wurde daher eine Methode entwickelt, die es erlaubt, FE-Netze direkt aus hochaufgelösten Tomographiebildern von Verbundwerkstoffen zu erstellen und dabei an den Grenzflächen der beiden Phasen Grenzflächenelemente mit speziellen Eigenschaften (cohesive zone elements, CZE) einzufügen.

Vom CT-Bild zum FE-Modell

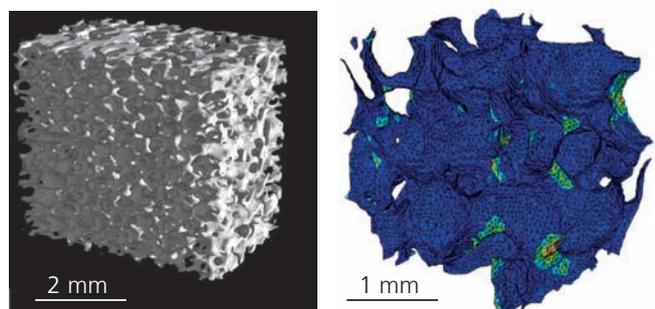
Die Mikro-Röntgen-Computertomographie (μ -CT) erlaubt die dreidimensionale Aufzeichnung von Werkstoffdetails mit einer Auflösung von wenigen μm sowie eine schnelle und zerstörungsfreie Beschreibung der Struktur von vielen Verbundwerkstoffen. Die Abbildung zeigt eine μ -CT-Aufnahme eines retikulierten Keramikschlammes (links). Zur Überführung eines solchen μ -CT Bildes in ein 3-D-FE-Netz wird das Bild zunächst gefiltert, und es erfolgt die Zuordnung der Phasen über eine Diskriminierung der Dichtewerte. Die so erhaltenen 3-D-Karten der Phasenverteilung (Voxelmaps) werden anschließend in ein Oberflächenpolygonnetz überführt, welches die Phasengrenzfläche beschreibt. Aus den Netzen werden 3-D-FE-Modelle erstellt. Bei Bedarf können in diese

zusätzliche CZE mit dem am Fraunhofer IWM entwickelten Programm »MatInterface3D« eingefügt werden.

Größere Gefügeausschnitte möglich

Die neue Methode erlaubt ohne einen Verlust an Detailtreue eine deutliche Reduktion der Elementzahl im FE-Modell gegenüber der ursprünglichen Zahl an Voxeln im CT-Bild. Dies wiederum ermöglicht 3-D-Modellierungen unter Berücksichtigung des plastischen Materialverhaltens und der Grenzflächenablösung auch an größeren Gefügeausschnitten. Die Methode ist zudem vielseitig anwendbar und eignet sich prinzipiell auch für FE-Modelle von Materialverbunden und Schäumen.

Dr. Achim Neubrand



1 Links: μ -CT-Aufnahme eines tongebundenen Siliziumcarbid-Schlammes. Rechts: 3-D-Simulation eines Metall-Keramik-Verbundwerkstoffs bei einsetzender Schädigung. Es sind nur die CZE dargestellt (intakte Grenzflächen = blau, geschädigte Grenzflächen = andersfarbig).

Polymere substituieren konventionelle Materialsysteme in immer mehr Bereichen und führen durch Kombination mit konventionellen Materialklassen zu höherwertigen Hybridsystemen. Wir bieten die komplette Entwicklungskette vom Materialdesign bis zum geprüften prototypischen Bauteil. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Pilotanlagencentrum PAZ in Schkopau, welches eine Verknüpfung von Polymersynthese und -verarbeitung ermöglicht. Dabei spielt die Vorhersage der Materialeigenschaften und damit der Prototypenersatz eine immer größere Rolle bei kürzer werdenden Entwicklungszeiten. Materialkompetenzen fokussieren sich auf thermoplastische Polymere und Polymercompounds sowie auf polymerbasierte Hochleistungsverbundmaterialien.

Die Schwerpunkte unserer Forschung und Entwicklungsleistungen liegen im funktionsintegrierten Leichtbau sowohl mit polymerbasierten Verbundwerkstoffen und CFK-Schaum-Sandwiches als auch mit Polymerschaumsystemen und der Reduktion des Anteils erdölbasierter Polymere im Bauteil durch naturbasierte Zusatzstoffe wie bei Holz-Polymer-Werkstoffen.

Bemerkenswertes aus 2010

Prof. Dr. Roland Weidisch ist seit April 2010 neuer Leiter des Geschäftsfelds Polymeranwendungen und Professor für »Mikro- und Nanostrukturbasierte Polymerverbundwerkstoffe« an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Im Zuge der Neubesetzung der Geschäftsfeldleitung entstand zudem die Gruppe »Polymerbasiertes Materialdesign« im Geschäftsfeld, die sich verstärkt mit der Struktur-Eigenschaftsaufklärung von superelastischen Polymeren, Copolymeren und Nanokompositen beschäftigt.

Die Verarbeitung stellt einen enorm wichtigen Einflussparameter für das Eigenschaftsprofil des polymeren Werkstoffs dar. In

diesem Zusammenhang ist es erfreulich, dass die neuen Verarbeitungsstrecken im Labormaßstab dieses Jahr realisiert werden konnten. Sie ermöglichen es, polymerbasierte Materialien auf Verarbeitungseinflüsse zu überprüfen, und sind eine ideale Ergänzung zu den bereits vorhandenen, großtechnischen Anlagen im Fraunhofer-Pilotanlagencentrum PAZ.

Gruppe

Naturstoffkomposite

Hier steht die Reduzierung des Anteils petrochemischer Komponenten bei gleichzeitiger Erhöhung des Gebrauchswertes im Vordergrund. Das Materialspektrum reicht dabei von duroplastischen bis hin zu thermoplastischen Matrixmaterialien. Durch die systematische Untersuchung von Verarbeitungsparametern und der Funktionen neuartiger Materialkombinationen werden zukunftstaugliche Polymercompounds und Materialkreisläufe entwickelt.

Andreas Krombholz

andreas.krombholz@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe

Polymerbasierte Hochleistungsverbundwerkstoffe

Zur Bewertung des Einsatzverhaltens von Faserverbundwerkstoffen werden Struktur-Eigenschaftsbeziehungen untersucht. Im Fokus steht dabei die Bewertung der Schadenstoleranz unter Einsatzbedingungen.

Dr. Ralf Schäuble

ralf.schaeuble@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe

Polymerbasiertes Materialdesign

Der Schwerpunkt der Gruppe ist die Weiterentwicklung von thermoplastisch verarbeitbaren superelastischen Polymeren, nanostrukturierten Copolymeren sowie mit nanoskaligen Füllstoffen modifizierten Polymersystemen. Dabei liegt der Fokus auf der Untersuchung und Optimierung der Zusammenhänge zwischen molekularer Struktur, Morphologie und mechanischen Eigenschaften polymerer Materialien.

Prof. Dr. Roland Weidisch

roland.weidisch@iwmh.fraunhofer.de

Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ, Gruppe Polymerverarbeitung

Die Gruppe, lokalisiert im Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum PAZ, widmet sich in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP der Entwicklung anwendungsspezifischer Thermoplast-Compounds und prototypischer Bauteile unter besonderer Berücksichtigung der Verarbeitungseinflüsse auf die Werkstoff- und Bauteileigenschaften.

Dr. Michael Busch

michael.busch@iwmh.fraunhofer.de



*Prof. Dr. Roland Weidisch
Geschäftsfeldleiter*

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

NATURSTOFFKOMPOSITE

Andreas Krombholz
andreas.krombholz@iwmh.fraunhofer.de

DESIGN UND KONSTRUKTION MIT HOLZ-POLYMERWERKSTOFFEN

Klimafreundliche Stoffkreisläufe benötigen zukunftstaugliche Materialien, beispielsweise Polymercompounds, die aus einem hohen Anteil von Stoffen aus regenerativen Quellen bestehen. Die innovative Anwendung dieser neuartigen Materialien verbessert einerseits die CO₂-Bilanz im Produktlebenszyklus und ist andererseits die Grundlage für eine nachhaltige Warenproduktion. Häufig widersprechen zukunftstaugliche Materialien jedoch den Kostenstrukturen in der kunststoffverarbeitenden Industrie, besonders in der Phase der Markteinführung. Dadurch kann eine Innovationsbarriere entstehen.

Materialbasiertes Design ermöglicht Produktentwicklungen mit Mehrwert: Über die reine Materialsubstitution hinaus kann auch ein Zusatznutzen entstehen. Mit diesem Ziel sind Imageprodukte zu entwickeln, die über ihren Einsatznutzen hinaus das Potenzial neuer Materialien aufzeigen und damit neue Marktsegmente erschließen. Um die notwendige Marktnähe zu gewährleisten, müssen die Anforderungen von Marktakteuren und Herstellern ebenso betrachtet werden wie die neuartigen Eigenschaftsprofile von Materialentwicklungen. Die Verknüpfung von Werkstoffmechanik und Industriedesign wurde dazu erfolgreich am Fraunhofer IWM eingerichtet.

Holz-Polymer-Komposite

Neben der Entwicklung von Naturstoffkompositen wie Holz-Polymer-Kompositen (Wood Plastic Composites, WPC) und ihre werkstoffmechanische Charakterisierung erfolgte die gestalterische Analyse des Eigenschaftsprofils von WPC. Diese Materialklasse wurde aufgrund stetig steigender Marktzahlen ausgewählt, da über den Einsatz in Terrassen-Bedeckungen

hinaus Produktentwicklungen für thermoplastische Naturstoffkomposite in verschiedenen Marktsegmenten zu erwarten sind. Beispielhaft wurden unter Nutzung der neuartigen Eigenschaftsprofile von WPC marktfähige Imageprodukte entwickelt.

Regalsystem ohne Ausfachung oder Verspannung

Leichtbaupotenzial, eine charakteristische Materialästhetik und Patinafähigkeit, wie sie von Holz- und anderen Naturstoffen bekannt sind, wurden als neuartige Designaspekte für frei formbare Polymerwerkstoffe mit nativen Füll- und Verstärkungstoffen identifiziert. Mit der exemplarischen Weiterentwicklung und strukturmechanischen Auslegung eines beim Kooperationspartner Burg Giebichenstein HKD entwickelten Hohlkammerprofilverbinders wurde ein innovatives Möbelsystem aus WPC entwickelt.

Neben polymerchemischem Know-how bei der Compoundierung kam strukturmechanische Kompetenz bei der Auslegung der WPC Bauteile zur Anwendung. Das Regalsystem arbeitet ohne Ausfachung oder Verspannung, was für modular erweiterbare Möbel ein Novum darstellt. Somit weist das Imageprodukt »extruso« Regal, neben einer charakteristischen haptischen Ästhetik und neben Funktionseinträgen wie der integrierten Beleuchtung, auf das Einsatzpotenzial der WPC hin.

In einer Partnertopografie wurde das Interesse von kunststoffverarbeitenden Unternehmen und Marktakteuren am Einsatz neuartiger Materialien analysiert. Auf diesem Weg wurden Kunststoffverarbeiter für die Serienfertigung des Regalsystems und Marktakteure für dessen Vertrieb interessiert.



»extruso« Regalsystem in einfacher Konfiguration.

Motiviertes Design

Als Transferwerkzeuge für die Übertragung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus der Polymercompound-Forschung in die Wirtschaft wurde die Workshopreihe »Materialbank[at]« etabliert sowie die Internetplattform www.designtransfair.de eingerichtet. Der Designwettbewerb »Sprungbrett in die Serie« motiviert jährlich junge Designer, weitere Imageprodukte zu entwickeln. Das »extruso« Regal und der erste Gewinnerentwurf aus dem Wettbewerb wurden in Fachmagazinen und Büchern publiziert und damit das Thema strukturmechanische Auslegung beim Einsatz zukunftstauglicher Materialien in den Kontext Design transportiert.

Sven Wüstenhagen



1 Modular erweiterbares »extruso« Regalsystem, freistehend ohne Verspannung.



2 Verkleidung aus Holzfaser verstärkten Polymeren für eine Elektro-Ladestelle.



3 Funktionsintegration: Beleuchtung in CRF/PP-Hohlkammerplatten an einer Elektro-Ladestelle.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

POLYMERBASIERTE HOCHLEISTUNGSVERBUNDWERKSTOFFE

Dr. Ralf Schäuble

ralf.schaeuble@iwmh.fraunhofer.de

CFK-SCHAUM-SANDWICHSTRUKTUREN IM THERMOMECHANISCHEN HÄRTETEST

CFK-Schaum-Sandwichstrukturen bieten hohe gewichtsspezifische Biegesteifigkeiten und -festigkeiten. Der Einsatz als Primärstrukturen im Verkehrsflugzeugbau wird auch aufgrund des günstigen Herstellungsverfahrens angestrebt. Für diese Anwendungen muss ermittelt werden, inwieweit Alterungsprozesse eine Degradation der mechanischen Performance hervorrufen können und ob diese im tolerierbaren Bereich liegt.

Konzepte zur Minimierung von Temperatureigenstressungen

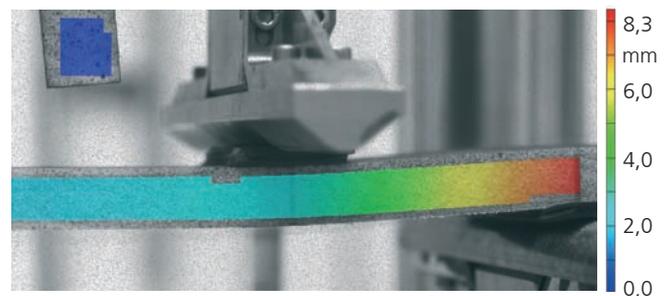
Der Sandwichaufbau verbindet zwei steife CFK-Deckschichten mit einem polymeren Hartschaumkern, beide Materialien besitzen sehr unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten. Bei der Herstellung im Vakuuminfusionsverfahren ist die Struktur zunächst spannungsfrei, bei Abkühlung auf Raumtemperatur mit einer Temperaturdifferenz von 155 Kelvin werden bereits erhebliche Eigenspannungen induziert. Neben den herstellungsbedingten thermalen Lasten müssen auch die im Betrieb auftretenden Temperaturwechsel zwischen 80 und -55 °C dauerhaft ertragen werden. Experimentelle Untersuchungen umfassen Temperaturschockexperimente mit bis zu 5000 thermischen Lastwechseln sowie Auslagerungen bei konstanten Klimabedingungen. Im Anschluss werden die Prüfkörper im Vier-Punkt-Biegetest zerstörend geprüft. Die Auswertung der Experimente wird durch thermomechanische Berechnungen unterstützt. Auf Basis verschiedener experimenteller Untersuchungen werden zudem Konzepte zur Minimierung der Eigenspannungen entwickelt.

Thermische Vorgeschichte ausschlaggebend

Bei der Alterung der Strukturen spielen sowohl äußere klimatische Faktoren als auch innere thermodynamisch instabile Zustände eine entscheidende Rolle. Ein Teil der herstellungsinduzierten Eigenspan-

nungen wird beispielsweise langfristig über das Relaxationsverhalten des Hartschaumkerns abgebaut. Bei der Ermittlung gefährlicher Belastungszustände im Betrieb muss zusätzlich der (kurzfristige) zeitliche Verlauf der Beanspruchungen betrachtet werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die thermische Vorgeschichte – insbesondere die des Schaumkerns – entscheidenden Einfluss auf die mechanische Leistungsfähigkeit der Gesamtstruktur hat. Die Untersuchungen werden sowohl an unverstärkten als auch an flächig verstärkten CFK-Schaum-Sandwichstrukturen weiter verfolgt.

Marianne John



1 *Oben: CFK-Schaum-Sandwich-Schubversagen im 4-Punkt-Biegetest. Unten: Sandwich-Prüfkörper im 4-Punkt-Biegetest mit berührungsloser optischer Verformungsmessung; blau: Referenzmessstreifen.*

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

POLYMERBASIERTES MATERIALDESIGN

Prof. Dr. Roland Weidisch

roland.weidisch@iwmm.fraunhofer.de

SUPERELASTISCHE POLYMERE ALS NEUE THERMOPLASTISCHE ELASTOMERE

Superelastische Polymere sind thermoplastische Elastomere (TPEs) mit einer neuen molekularen Architektur (Abbildung 1). Sie bestehen aus einer elastischen Isopren-Rückgratkette (blau), an die Styrol-Blöcke (rot) angepfropft sind (Multipropf-Copolymer, MP). Isopren (PI) und Styrol (PS) sind nicht mischbar, und deshalb bilden die verschiedenen Blöcke beim Abkühlen aus der Schmelze eine phasenseparierte, nanoskalige Morphologie aus, bestehend aus PS-Domänen in einer weichen PI-Matrix. Dabei dienen die harten PS-Domänen als physikalische Vernetzungsstellen und erhöhen so die Festigkeit des Elastomers. Bei höheren Temperaturen erweichen diese Vernetzungsstellen, wodurch thermoplastische Verarbeitung und Recycling ermöglicht werden, was einen großen Vorteil gegenüber chemisch vernetzten Elastomeren darstellt. Superelastische Polymere lassen sich sehr weit dehnen (≈ 1500 Prozent) und zeigen selbst bei hohen Dehnungen eine fast vollständige Rückverformung. Daraus ergeben sich verschiedene Anwendungen, beispielsweise als Membranen in der Medizintechnik oder Akustik.

Strukturaufklärung und Zugversuche

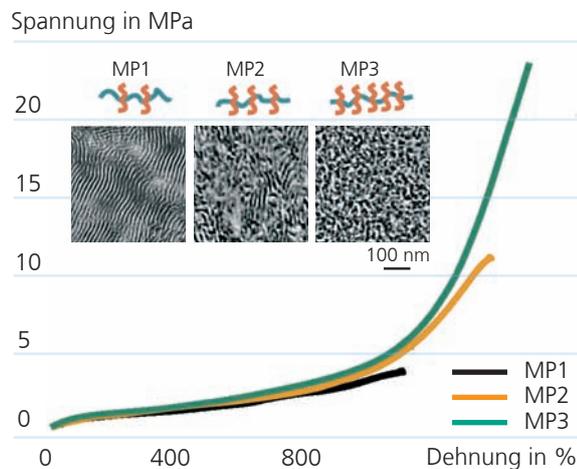
Der Einfluss der molekularen Architektur auf die nanoskalige Morphologie wurde mit Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und Kleinwinkelstreuung untersucht und das Spannungs-Dehnungsverhalten der superelastischen Polymere im Zugversuch bestimmt. Zusammen ermöglicht dies die Interpretation der Struktur-Eigenschaftsbeziehung der Multipropf-Copolymere.

In diesem Beitrag wird der Einfluss der Anzahl der Verzweigungspunkte auf Morphologie und Mechanik vorgestellt.

Fest und weich zugleich

Abbildung 1 zeigt das Spannungs-Dehnungsverhalten von Multipropf-Copolymeren mit einer unterschiedlichen Anzahl an Verzweigungspunkten. Mehr Verzweigungen auf der PI-Kette bewirken eine sinkende Fernordnung (siehe TEM-Bilder) und verbessern die Spannungsübertragung zwischen den Vernetzungsstellen (Styrol-Domänen). Dies führt zu ansich gegensätzlichen Eigenschaftsverbesserungen – höhere Bruchdehnungen und gleichzeitig steigende Festigkeiten. Die mechanischen Kennwerte liegen dabei teilweise deutlich höher als bei heutzutage eingesetzten TPEs.

Stefan Hölzer



1 Molekulare Architektur, TEM-Aufnahmen und Spannungs-Dehnungsverhalten von verschiedenen Multipropf-Copolymeren.

FRAUNHOFER-PILOTANLAGEN- ZENTRUM FÜR POLYMERSYNTHESE UND -VERARBEITUNG PAZ

Das Fraunhofer-Forschungszentrum PAZ wird gemeinsam vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP und dem Fraunhofer IWM betrieben. Das Pilotanlagenzentrum liefert maßgeschneiderte Prozesslösungen vom Syntheserohstoff bis hin zum geprüften Hochleistungsbauteil. Es werden anwendungsspezifische Thermoplast-Compounds und prototypische Bauteile entwickelt, wobei der Verarbeitungseinfluss auf die Werkstoff- und Bauteileigenschaften besonders berücksichtigt wird.

Die Polymersyntheseverfahren werden in Lösung, Masse, Emulsion und Suspension durchgeführt. Verschiedene innovative Verarbeitungsverfahren wie Extrusion, Spritzguss und Injection Moulding Compounder IMC sind auf den gleichen Durchsatz abgestimmt. Der IMC realisiert die Verbindung von Extrudierungstechnik und Spritzgussverfahren »im Kleinen«.

Bemerkenswertes aus 2010

Aus einem Guß: Innovatives PUR-Konzept für Solarmodule mit integrierten Funktionen in Leichtbauweise

Das Fraunhofer PAZ hat ein Verfahren zur Herstellung von leichten und kostengünstigen PV-Modulen entwickelt. Dadurch werden die Montageprozesse von PV-Modulen vereinfacht. Dabei werden eine transparente Kunststoffscheibe, eine leichte GFK-Trägerstruktur und die Silizium-Zellen mit einem Polyurethan-Reaktivsystem (Verkapselungsmaterial) verbunden.

Im Rahmen des BMBF-Projekt »PV-Kunststoff-Module« und in Zusammenarbeit mit BASF, Evonik, Sovello wurde ein entsprechendes Modellsystem hergestellt. Für die Zukunft sind Erweiterungen wie die Entwicklung einer Hybridtechnologie für den Einsatz von abrasiven Füllstoffen (z. B. Glasfasern), die Verarbeitung neuer PUR-Systeme sowie die Herstellung von geschäumten und kompakten Bauteilen und Sandwich-Strukturen geplant.

Neubau Polymerlagergebäude für das Fraunhofer PAZ in Schkopau

Das Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und Polymerverarbeitung PAZ in Schkopau erhält ein neues Lagergebäude. Gefördert wird das Vorhaben vom Land Sachsen-Anhalt und der Fraunhofer-Gesellschaft mit insgesamt 900 000 Euro. Die 8 500 qm große Lagerhalle im DOW ValuePark® in Schkopau wird gemeinsam mit dem Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP genutzt. Ergänzend werden Büroräume für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entstehen.

Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ

www.polymer-pilotanlagen.de

Leiter Prof. Dr. Michael Bartke
+49 3461 2598-120
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Gruppe Polymerverarbeitung

Dr. Michael Busch
+49 345 5589-111
michael.busch@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe Polymersynthese

Dr. Ulrich Wendler
+49 3461 2598-210
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTÄNDIGKEIT VON WPC GEGEN WITTERUNGSEINFLÜSSE

Die Materialgruppe der Holz-Polymer-Verbundwerkstoffe (WPC) mit Holzanteilen von 50 bis 90 Prozent hat sich einen festen Platz im Bereich hochwertiger Produkte gesichert. Zum Beispiel werden hochgefüllte Kunststoffe mit thermoplastischer Matrix in Form von extrudierten Profilen zu Bodendielen verarbeitet. Für Spritzgussbauteile sind Holzanteile von 50 bis 60 Prozent vorteilhaft. Im Außeneinsatz sind WPC unterschiedlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Gegenstand der Arbeiten war die Modifizierung von WPC hinsichtlich Feuchtebeständigkeit für Anwendungen im Spritzgussbereich.

Verschiedene Harztypen

Der Einsatz verschiedener Phenol-Formaldehyd-Harze (PFH) als Stabilisatoren in WPC-Rezepturen mit 50 Prozent Holzfasernanteil wurde an Materialsystemen untersucht, die aus Polypropylen, Holzfaser, Haftvermittler und Harz bestehen. Folgende Harztypen wurden in Anteilen von jeweils 5 Prozent verwendet:

1. Festharz (PFH 100)
2. Flüssigharz mit 75 Prozent Feststoffanteil (PFH 75)
3. Flüssigharz mit 54 Prozent Feststoffanteil (PFH 54)

Die Harze wurden mit Holz und Haftvermittler vorgemischt, getrocknet und auf einem Doppelschneckenextruder mit dem Polymer compounding. An Norm-Prüfkörpern der Materialien wurden mechanische Kennwerte sowie die Feuchteaufnahme im Kochwassertest (5 h bei 95 °C) ermittelt.

Schlagzähigkeit versus Wasseraufnahme

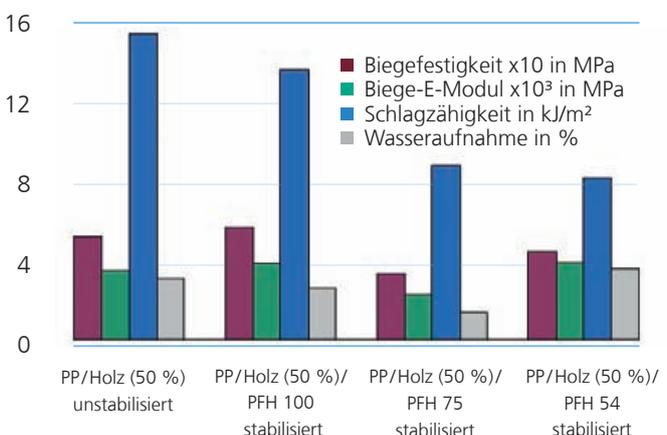
Alle stabilisierten WPC zeigen einen Abfall der Schlagzähigkeit im Vergleich zur unstabilisierten Type (Abbildung 1), was besonders bei der Verwendung der Flüssigharze deutlich wird. Das

Festharz bewirkt eine Zunahme von Materialfestigkeit und -steifigkeit, hat allerdings nur einen geringen positiven Einfluss auf die Wasseraufnahme. Der Einsatz des Flüssigharzes mit 75 Prozent Feststoffanteil führt zu einer signifikanten Abnahme der mechanischen Eigenschaften. Jedoch kann die Wasseraufnahme von 3,4 Prozent (unstabilisiert) auf 1,5 Prozent reduziert werden.

Die Wasseraufnahme der untersuchten WPC kann durch den Einsatz entsprechender Harzsysteme um bis zu 65 Prozent reduziert werden. Allerdings geht eine hohe Feuchteresistenz mit einem deutlichen Abfall in der Mechanik einher, welchem in weiterführenden Arbeiten durch innovative Fasermaterialien entgegengewirkt werden soll.

Ivonne Jahn

Kennwert



1 Vergleich unterschiedlicher Harze zur Feuchtestabilisierung in WPC.

BIOLOGISCHE UND MAKROMOLEKULARE MATERIALIEN

Für Anwendungen in der Kunststoffverarbeitung, Medizintechnik und Biotechnologie erarbeiten wir im Auftrag unserer Kunden Lösungen zu innovativen Veredlungsverfahren von Polymerfolien, entwickeln und bewerten Oberflächenmodifizierungs- und Beschichtungsverfahren für biologische und biokompatible Materialien und verwenden Nanotechnologien zur Materialfunktionalisierung. Projektschwerpunkte sind die Entwicklung und Einsatzqualifizierung von Fügeverfahren für Polymerfolien und die Erzeugung von funktionalen Oberflächen auf Kunststoffen durch Plasmaverfahren und Nassbeschichtungen. Wichtige Fragestellungen sind weiterhin die elektronenmikroskopische Charakterisierung von biologischen Materialien (Zahn, Biofilme, Zellkulturen, Knorpelmaterialien), wobei zur umfassenden Problemlösung neue Methodenentwicklungen (In-situ-Techniken, Kryotechniken) zur Material- und Prozesscharakterisierung genutzt werden.

Bemerkenswertes aus 2010

Eine der wichtigsten Entwicklungen war die Neuentwicklung eines Laserschweißverfahrens für transparente Hochleistungsfolien aus dem Copolymer Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE), das für Dach- und Fassadenkonstruktionen genutzt wird. Bisher werden bei den Konfektionären in der Industrie die Folien thermisch verschweißt. Das Laser-Absorptionsschweißen ist ein für transparente Polymerfolien neues Fügeverfahren, welches eine wesentlich höhere Flexibilität bei den Schweißnahtgeometrien ermöglicht. Nach einer Verfahrensoptimierung mit einer umfassenden mechanischen und morphologischen Bewertung der Polymerschweißnähte konnten Schweißnahtfestigkeiten erreicht werden, die mit konventionellen thermischen Schweißnähten vergleichbar sind. Eine besondere Innovation ist das Laserschweißen von Polymerfolien mit metallischen Nanopartikeln als Laserabsorber.

Hier wird in einem patentgeschützten Verfahren die optische Plasmonenresonanz der Edelmetall-Nanopartikel dafür genutzt, Energie in die Grenzfläche zwischen den beiden Folien einzukoppeln und die Folien dauerhaft zu verschweißen. Das Laserschweißen von ETFE-Folien wurde 2010 vor Ort beim Industriepartner erfolgreich getestet. Neben dem geplanten Einsatz in der Fertigung wurde zusätzlich ein für den Außeneinsatz nutzbares Laserschweißsystem entwickelt, das für die Reparatur für ETFE-Membrankissen eingesetzt werden soll.

Bemerkenswert ist auch die 2010 erfolgte weitere Etablierung von Präparations- und Untersuchungsmethoden zur Bewertung der Morphologie von biologischen Materialien und polymeren Werkstoffen. Mit der Etablierung von Rasterelektronenmikroskopie (Kryo-SEM) und Focused-Ion-Technologie (Kryo-FIB) unter Kryobedingungen für die Untersuchung von Zellkulturen sowie durch die Visualisierung von lebenden Zellen im Rasterkraftmikroskop (AFM) konnten die morphologischen Untersuchungen von biologischen Materialien unter physiologischen Bedingungen sowie die Entwicklung von In-situ-Techniken auf eine neue Qualitätsebene gehoben werden.

Gruppe

Polymerfolien und Polymergrenzflächen

Für Anwendungen, vorrangig in der Kunststoff verarbeitenden Industrie, werden Verfahren zur Beschichtung und Oberflächenmodifizierung sowie zum Fügen von Polymerfolien entwickelt und optimiert. Basierend auf der mechanischen und morphologischen Charakterisierung und den gefundenen Mikrostruktur-Eigenschaftsbeziehungen werden die Oberflächen- und Grenzflächeneigenschaften der Polymerfolien optimiert sowie Verfahren zur inline-Diagnostik von Beschichtungs- und Oberflächenbehandlungsprozessen entwickelt.

Prof. Dr. Andreas Heilmann
andreas.heilmann@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe

Biologische und biokompatible Materialien

Die morphologischen und mechanischen Eigenschaften von biologischen Materialien und biokompatiblen Oberflächen werden untersucht. Präparationstechniken, Untersuchungsmethoden und Bewertungsverfahren werden gezielt für die Materialien angepasst und weiterentwickelt. Die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen und die Oberflächenfunktionalität von biologischen (Zahn, Knochen, Knorpel, Biofilme) und biokompatiblen Materialien (Implantate, Scaffolds) werden ermittelt, um die funktionellen Eigenschaften wie Haftung und Biokompatibilität zu bewerten. Beschichtungs- und Oberflächenmodifizierungstechnologien werden genutzt, um die Biofunktionalität zu steuern.

Dr. Andreas Kiesow
andreas.kiesow@iwmh.fraunhofer.de



Prof. Dr. Andreas Heilmann
Geschäftsfeldleiter

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

POLYMERFOLIEN UND POLYMERGRENZFLÄCHEN

Prof. Dr. Andreas Heilmann

andreas.heilmann@iwmh.fraunhofer.de

POLYMERFOLIEN FÜR DACHKONSTRUKTIONEN IM BIAXIALEN ZUGVERSUCH

Für Dach- und Fassadenkonstruktionen werden oft beschichtete textile Gewebe oder witterungsbeständige Polymerfolien eingesetzt. Mit Hilfe von verschiedenen Fügeverfahren können komplexe einlagige oder mehrlagige Membranen realisiert werden, die im Vergleich zu Glas-Stahl-Konstruktionen hinsichtlich Variabilität und Leichtbau deutliche Vorteile aufweisen. Für die Auslegung der Membranmaterialien für innovative Dachkonstruktionen bedarf es fundierter Kenntnisse über die mechanischen Eigenschaften der eingesetzten Folien und Gewebe. Im Einsatz sind diese Materialien permanent belastet und komplexen Spannungszuständen ausgesetzt, die sich durch einfache uniaxiale Versuche nicht abbilden lassen. Um einsatznahe Prüfbedingungen zur Kalibrierung geeigneter Materialmodelle zu realisieren, wurde am Fraunhofer IWM ein biaxialer Kreuz-Zugversuch entwickelt.

Kreuzförmige Folienprobe

Abbildung 1 zeigt den biaxialen Prüfaufbau für eine kreuzförmige Folienprobe. Vier einzelne servohydraulische Prüfzylinder sind auf einem Spannungsfeld in zwei orthogonalen Achsen angeordnet und können als zwei getrennte Achsen synchron geregelt werden. Prüfkörperform und Lage des Messbereichs wurden vorher mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen optimiert, um vorzeitiges Versagen der Prüfkörper zu verhindern und ein konstantes Deformationsfeld im Messbereich zu gewährleisten.

Die Deformation der Folie im markierten Messbereich wird mit Hilfe eines 3-D-Verformungsmesssystems in Echtzeit bestimmt. Um zu jeder Zeit eine konstante Deformationsgeschwindigkeit und ein vorher festgelegtes Dehnverhältnis der beiden Achsen

zu erreichen, wurde die Verfahrensgeschwindigkeit der beiden Achsen anhand der Abstandsbestimmung zwischen den vier aufgebrachten Markierungen in Echtzeit geregelt. Im Versuch können somit neben äquibiaxialer Verformung und behinderter Querkontraktion (reine Schubbelastung) nahezu beliebige Dehnverhältnisse eingestellt werden.

Schneller als das Polymerfließen

Durch die Unterstützung der Messung mit optischen Messmethoden in Echtzeit wird im Zentrum der Probe ein definiertes, symmetrisches Deformationsfeld erzeugt. Abbildung 1 (rechts) veranschaulicht die resultierende Schubverzerrung bei einem äquibiaxialen Zugversuch einer Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE)-Folie. Das Zentrum der Probe ist bis zu einer Dehnung von 5 Prozent biaxial gereckt, und die Schubverzerrung im Messbereich ist nahezu Null.

Im Experiment wird nahe den Einspannklemmen schnell die Fließgrenze des Polymers erreicht. Im Zentrum der Probe soll aber dennoch eine konstante Dehnrate erreicht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, muss hier die Abzugsgeschwindigkeit auf etwa das 100-fache erhöht werden. Der speziell dafür entwickelte Regelalgorithmus erlaubt ein schnelles Ausregeln des Fließens der Außenbereiche und verhindert das Aufschwingen der beiden Achsen.

Um die Experimente in den Belastungsarten vergleichen zu können, wurde eine konstante Vergleichsdehnrate nach »von Mises« gewählt. Dadurch kann die Dehnratenabhängigkeit des Materialverhaltens vernachlässigt werden. Abbildung 2 zeigt das »von Mises«-Spannungs-Dehnungsdiagramm für



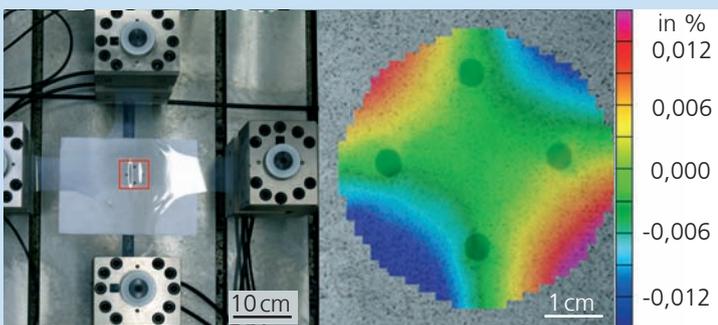
Biaxialer Prüfaufbau mit Kreuz-Zugversuch.

drei verschiedene Lastszenarien. Die ermittelte Steifigkeit bei geringen Verformungen beträgt 1 GPa im uniaxialen Zugversuch und 1,5 GPa im equibiaxialen Zugversuch.

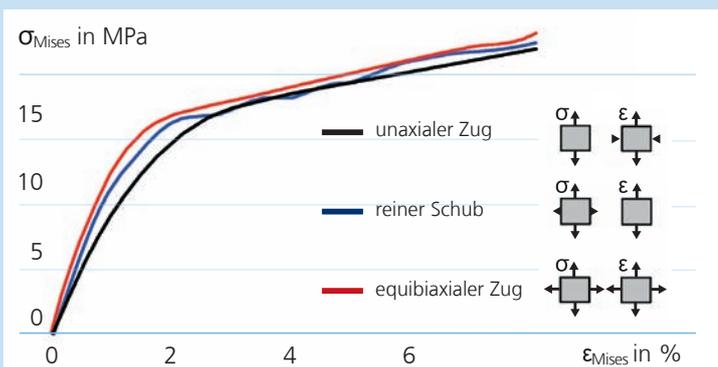
In ein- und mehrlagigen Membranelementen treten in erster Linie Belastungen auf, die dem equi-biaxialen Zugversuch entsprechen. Die damit ermittelten Materialkennwerte sind

für im Einsatzfall auftretende Verformungen anwendbar und beschreiben das tatsächliche Materialverhalten wesentlich genauer. Durch die Verwendung der neuen Materialkennwerte kann die Auslegung der Membranelemente optimiert werden.

Thomas Hanke, Prof. Dr. Andreas Heilmann



1 Links: Biaxialer Kreuz-Zugversuch. Rechts: Schubverzerrung in Prozent bei 5 Prozent äquibiaxialer Dehnung.



2 Vergleich der »von Mises«-Spannungs-Dehnungsdiagramme verschiedener Lastszenarien bei einer »von Mises«-Dehnrade von 1 Prozent pro Minute.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

BIOLOGISCHE UND BIOKOMPATIBLE MATERIALIEN

Dr. Andreas Kiesow

andreas.kiesow@iwmm.fraunhofer.de

MORPHOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG VON ABRASIVA IN ZAHNPASTEN

Zur effektiven Beseitigung von Ablagerungen auf der Zahnoberfläche werden Zahnpasten-Putzkörper, sogenannte Abrasiva, zugegeben. Diese werden in partikulärer Form beigelegt, wobei verschiedene Materialien, wie beispielsweise Silica, Aluminiumoxid oder Calciumcarbonat, Einsatz finden. Eine Besonderheit sind sogenannte »temporäre« Putzkörper, zu denen zum Beispiel Natriumbicarbonat zählt. Die Effektivität der Zahnreinigung wird wesentlich durch Größe, Form, Materialhärte und Menge der Abrasivpartikel bestimmt. Deshalb sind bei der Entwicklung und Herstellung von Zahnpasten Kenntnisse zur Partikelmorphologie notwendig.

Natriumbicarbonat-Partikel als Abrasiva

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG wurde die Zahnpasta *parodontax*[®] untersucht. In dieser Zahnpasta wird Natriumbicarbonat, ein auch in der Natur vorkommendes Salz, als Putzkörper eingesetzt. Dieses Material bleibt im Mundmilieu nicht stabil, sondern löst sich im Speichel auf. Mit Hilfe speziell angepasster elektronenmikroskopischer Techniken sollten die daraus resultierenden Änderungen der Partikeleigenschaften im simulierten Einsatz untersucht werden.

Charakterisierungsmethodik

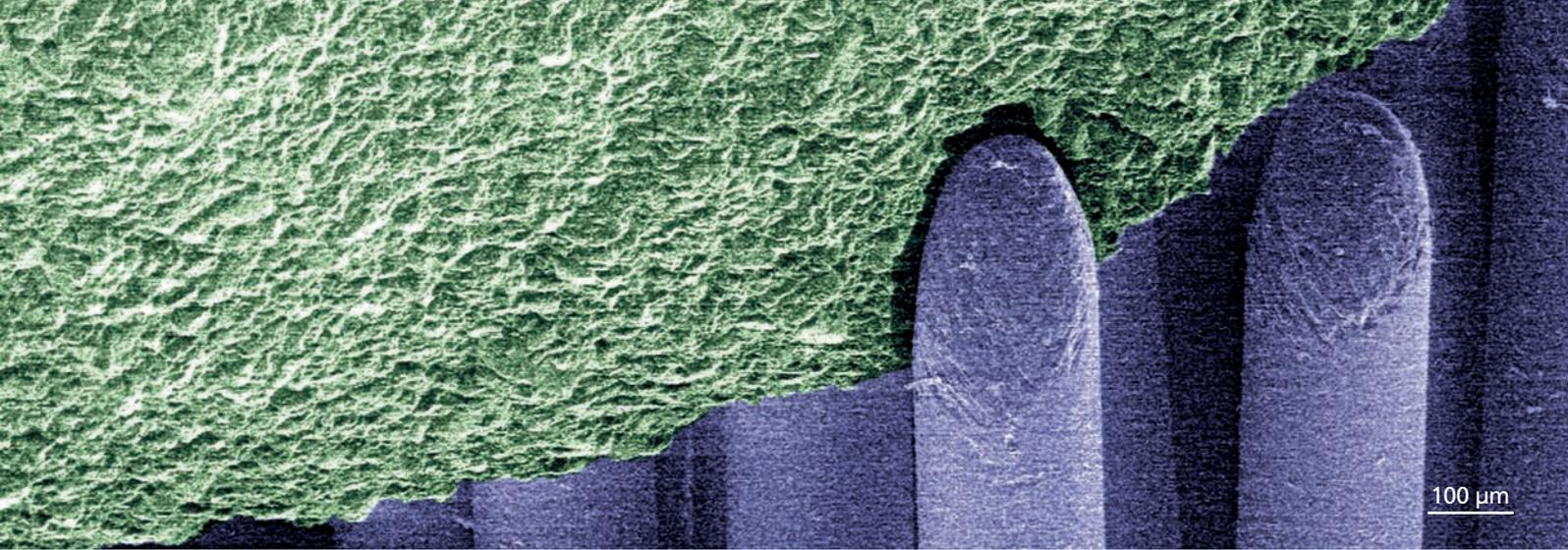
Zur Charakterisierung der Partikel im Ausgangszustand (Rohmaterial, Abbildung 1A) sowie im Zustand nach der Zahnpastaformulierung wurde die Rasterelektronenmikroskopie als hochauflösendes Abbildungsverfahren eingesetzt. Dabei konnten zum einen die Partikel mittels Ethanol von den anderen Bestandteilen der Zahnpasta separiert und abgebildet werden (Abbildung 1B). Zum anderen musste, um den Zustand »inner-

halb« der Zahnpasta abzubilden und zu bewerten, die Kryorasterelektronenmikroskopie angewendet werden. Hierbei wird durch schockartiges Einfrieren der Zahnpasta zunächst die Lage der Partikel fixiert und danach die innere Struktur durch einen im Mikroskop an der Zahnpastaprobe erzeugten Bruch freigelegt. Die Abbildung der erzeugten Bruchfläche ermöglicht die Analyse der Partikelverteilung sowie der morphologischen Eigenschaften von Einzelpartikeln (Größe und Form) innerhalb der Zahnpasta (Abbildung 1C, rote Pfeile).

Zur Untersuchung der Stabilität und der Lösungskinetik wurden aus der Zahnpasta extrahierte Natriumbicarbonatpartikel im Atmosphärischen Rasterelektronenmikroskop untersucht. Diese elektronenmikroskopische Spezialtechnik ermöglicht die Untersuchung von Proben im nassen Milieu. Durch Wahl von Proben temperatur und Druck innerhalb der Probenkammer lässt sich die Probe kontrolliert befeuchten und so das Auflösungsverhalten dokumentieren.

Partikelmorphologie

Die Partikel des Ausgangsprodukts haben Größen im Bereich von einigen zehn bis hundert Mikrometern, ebenso wie die aus der Zahnpasta extrahierten Partikel. Im Vergleich zu Silica-Abrasiva, die als Agglomerate vorliegen, sind die Natriumbicarbonatpartikel um ein vielfaches größer (zirka zwei bis drei Größenordnungen). Sowohl die Partikel im Ausgangszustand als auch die aus der Zahnpasta extrahierten Partikel besitzen die für Salzkristalle typische Struktur, wobei verrundete Kanten erkennbar sind. Es konnten keine signifikanten, durch den Herstellungsprozess der Zahnpasta bedingten Veränderungen in der Partikelmorphologie nachgewiesen werden.

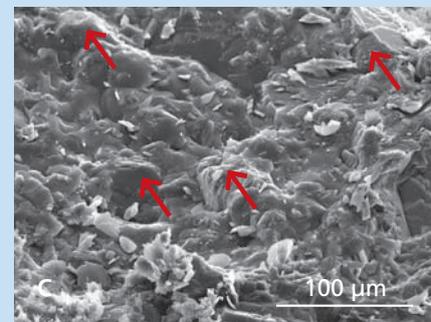
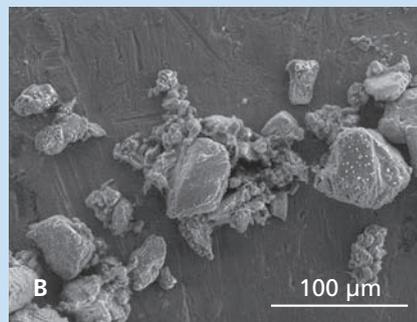
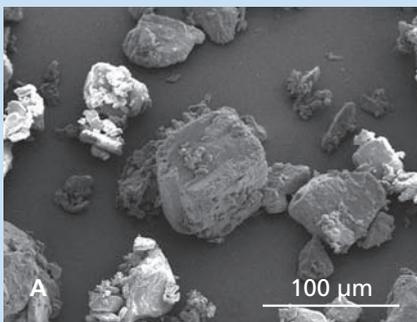


Detailaufnahme der Kontaktsituation zwischen Zahnpasta (parodontax®) und den Enden der Zahnbürstenfilamenten (aufgenommen im atmosphärischen Rasterelektronenmikroskop).

Die Untersuchung des Auflösungsverhaltens im Atmosphärischen Rasterelektronenmikroskop zeigte ein schnelleres Auflösen kleinerer Partikel sowie die Größenabnahme größerer Partikel, welche auch mit einer Formänderung verbunden ist. Abbildung 2 zeigt anhand dreier Abbildungen eine Auflösungssequenz.

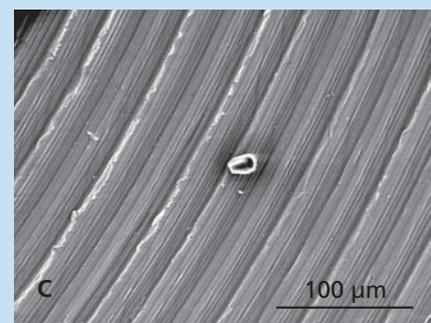
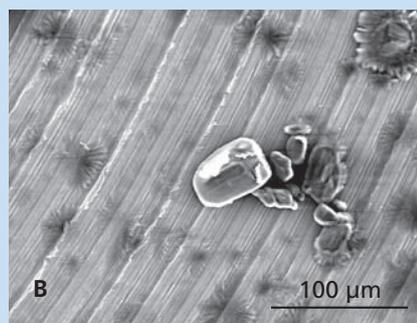
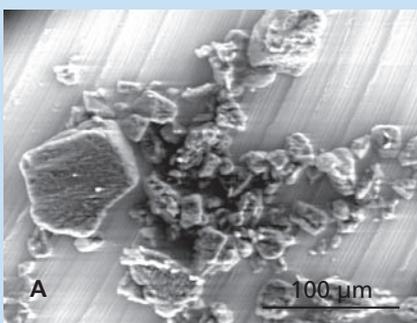
Dabei konnte nachgewiesen werden, dass innerhalb einer typischen Putzdauer von zwei Minuten Partikel erhalten bleiben.

Andreas Cismak, Dr. Andreas Kiesow



1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Abrasiva;

A = Partikel des Ausgangsmaterials, B = Partikel extrahiert aus der Zahnpasta, C = Partikel in der Zahnpasta (Kryo-Modus).



2 Partikel-Auflösungssequenz nach Befeuchtung im Atmosphärischen Rasterelektronenmikroskop;

A = Partikelensemble im Ausgangszustand, B = nach 60 s, C = nach 120 s.

KOMPONENTEN DER MIKROELEKTRONIK UND MIKROSYSTEMTECHNIK

Für Bauelemente und Werkstoffe der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik charakterisieren wir Struktur-, Material- und Bauteileigenschaften, analysieren Fehler und Schwachstellen, bewerten die mechanischen Eigenschaften und das Einsatzverhalten von Mikrobauteilen und entwickeln Diagnostik- und Prüfverfahren für Mikrodimensionen weiter. In enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern tragen wir dadurch zur Optimierung von Technologieschritten bei der Herstellung mikroelektronischer Systeme sowie zur Sicherung von Qualität und Zuverlässigkeit bei.

Bemerkenswertes aus 2010

2010 konnte das ENIAC-Verbundvorhaben »ESIP« als größtes europäisches Vorhaben zur Höchstintegration und Miniaturisierung von mikroelektronischen Systemen gestartet werden. Gemeinsam mit führenden europäischen Halbleiterfirmen, Geräteherstellern und Industrieanwendern sowie Forschungsinstituten aus neun Ländern werden neue Verfahren für die Fehleranalyse und den elektrischen Test für zukünftige dreidimensional integrierte Systeme mit vertikalen Kontaktierungen (TSV) und Wafer Level Packages entwickelt. Erste erfolgreiche Ergebnisse zur Fehlerdetektion mittels Thermographie, Ultraschallmikroskopie und hoch effizienter Ionenstrahlpräparationsverfahren konnten bereits auf internationalen Fachtagungen vorgestellt werden.

Gruppe

Bewertung mikroelektronischer Systemintegration

Wir bewerten die für den Aufbau mikroelektronischer Bauelemente und Systeme eingesetzten Werkstoffe, um Fehlermechanismen zu erkennen und ein zuverlässiges Einsatzverhalten abzusichern.

Prof. Dr. Matthias Petzold
matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe

Charakterisierung Mikrosysteme

Wir analysieren Festigkeit und Einsatzverhalten von Si-Mikrosystemen und Waferbond-Technologien mittels mechanischer Prüftechnik, Simulation und mikrostruktureller Analytik.

Prof. Dr. Matthias Petzold
matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

Gruppe

Diagnostik Halbleitertechnologien

Wir betreiben Ursachenforschung von Materialwechselwirkungen und nanoskaligen Defekten in integrierten Schaltkreisen mittels hochauflösender Analysetechniken mit dem Ziel, die Herstellungstechnologien zu verbessern.

Frank Altmann
frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de



Prof. Dr. Matthias Petzold
Geschäftsfeldleiter

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

DIAGNOSTIK HALBLEITERTECHNOLOGIEN

Frank Altmann

frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de

FIB/EBIC-CHARAKTERISIERUNG VON HALBLEITERBAUELEMENTEN

Dünnschicht-Solarzellen bestehen aus komplexen Multischichtaufbauten mit feinkristallinem Materialgefüge. Die Optimierung des Wirkungsgrades unter produktionstechnischen Bedingungen erfordert daher ein Verständnis der erzeugten Schichtstrukturen in Korrelation mit den resultierenden elektrischen Eigenschaften. Ansatzpunkte ergeben sich durch die Bestimmung wirkungsgradrelevanter Defektypen und der vertikalen Ausformung der Raumladungszone im Absorber.

In integrierten Schaltkreisen werden Dotierungen im Halbleiter-substrat für die Erzeugung von Transistor- und Diodenstrukturen eingesetzt. Benötigt werden Dotierbereiche in vielfältigen Dimensionen bis in den sub- μm -Bereich bei Verwendung unterschiedlicher Dotierspezies und -konzentrationen. Bereits geringfügige prozessbedingte Abweichungen oder Einzeldefekte können die elektrische Funktionalität des gesamten Bauteils beeinträchtigen.

Verfahren

Für die lokale Untersuchung von elektrischen Eigenschaften kann das Electron Beam Induced Current (EBIC)-Verfahren im Rasterelektronenmikroskop (REM) eingesetzt werden. Durch die Wechselwirkung des fokussierten Elektronenstrahls mit dem Halbleiter entstehen lokal Elektronen-Lochpaare. In Raumladungszonen werden diese Ladungsträger separiert und ein EBIC-Strom erzeugt. Durch Abrastern des Untersuchungsbereiches und gleichzeitiges Messen des EBIC-Stromes können Shottky- und p/n-Übergänge mit sub- μm -Ortsauflösung untersucht werden. Die Korrelation der lokalen elektrischen Eigenschaften wird durch eine Überlagerung des EBIC-Bildes mit dem Sekundärelektronenbild erreicht.

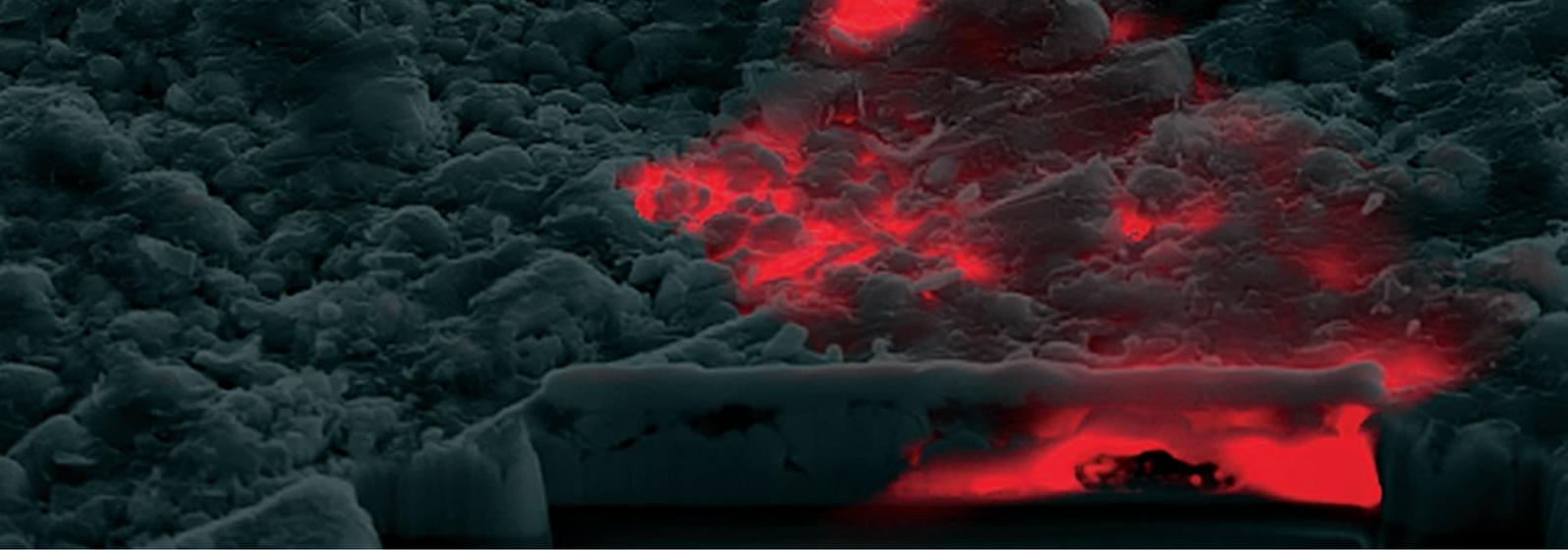
Am Fraunhofer IWM werden in Kooperation mit Geräteherstellern neue EBIC-basierte Untersuchungsverfahren durch Kombination mit der fokussierenden Ionenstrahltechnik (FIB) und lokalem elektrischen Kontaktieren entwickelt. Dadurch lassen sich mittels EBIC erstmalig gezielt Einzeldefekte dreidimensional analysieren. Der lokale Messzugang erlaubt zudem die Untersuchung kleinster Funktionseinheiten im integrierten Schaltkreis.

Solarzellencharakterisierung

Mit dem neuen FIB/EBIC-Verfahren werden unterschiedliche Dünnschicht-Solarzellen basierend auf kristallinen Si-, CdTe- und CIS-Absorbern untersucht. Kurzschlussdefekte sind mittels EBIC lokalisierbar, und deren Verteilung kann bei geringen Abbildungsvergrößerungen dargestellt werden. Durch schrittweise FIB-Querschnittspräparation kombiniert mit paralleler EBIC- und REM-Abbildung wird die Defektstruktur dreidimensional charakterisiert. Die Ausformung der Raumladungszone in den jeweiligen Dünnschichtabsorbern wird mittels EBIC an den Schichtquerschnitten analysiert (Abbildung 1).

Fehleranalyse an mikroelektronischen Bauteilen

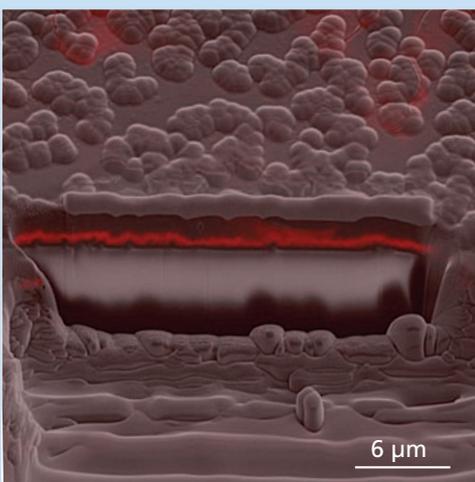
In mikroelektronischen Bauelementen befinden sich die Dotierstrukturen unterhalb einer Mehrlagen-Metallisierung. Der messtechnische Zugang für die EBIC-Analyse wird durch nasschemisches Abätzen dieser Deckschichten und lokale Kontaktierung der p- und n-Strukturen erreicht. Danach können laterale Positionen von p- und n-Übergängen mittels EBIC präzise bestimmt und Kurzschlussdefekte nachgewiesen werden (Abbildung 2). Einzelne Funktionsstrukturen lassen sich mittels FIB und EBIC im Querschnitt präparieren und analysieren. Damit wird es



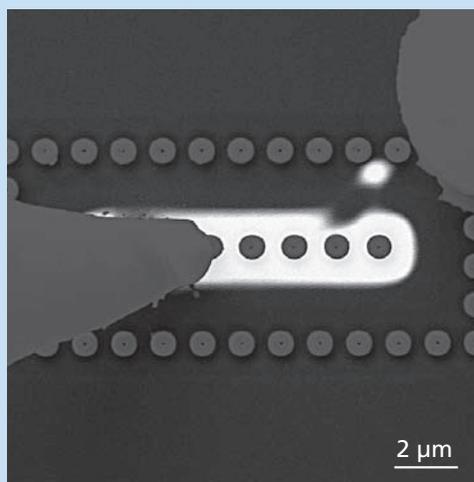
Dreidimensionale EBIC-Darstellung eines Shunt-Defektes in einer CdTe-Solarzelle.

möglich, den vertikalen Aufbau einzelner Dotierstrukturen zu untersuchen und fehlerhafte Dotierausformungen darzustellen. Die entwickelten FIB/EBIC-Verfahren können zukünftig am Fraunhofer CSP für Routineuntersuchungen an Solarzellen genutzt werden und liefern einen wichtigen Beitrag für die Optimierung entsprechender Fertigungstechnologien. Darüber hinaus wird das Verfahren in Zusammenarbeit mit Mikroelektronik-Herstellern erfolgreich für die Fehleranalyse eingesetzt.

Frank Altmann, Michél Simon



1 REM-Abbildung am FIB-Querschnitt einer CSG-Dünnschichtsolarzelle. Die Raumladungszone am p/n-Übergang wird durch das überlagerte EBIC-Bild (rot) dargestellt.



2 EBIC-Abbildung einer Diodenstruktur im integrierten Schaltkreis mit lokalem Kurzschluss. Der EBIC-Strom wird über direkte Kontaktierung der Dotierwannen mittels Wolframspitzen gemessen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

BEWERTUNG MIKROELEKTRONISCHER SYSTEMINTEGRATION

Prof. Dr. Matthias Petzold

matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

HOCHAUFLÖSENDE IDENTIFIKATION INTERMETALLISCHER PHASEN IN MIKROELEKTRONISCHEN KONTAKTIERUNGEN

Die Qualität und Zuverlässigkeit mikroelektronischer Kontakte hängt besonders bei Draht- und bleifreien Lotverbindungen vom Wachstum der intermetallischen Phasen innerhalb der jeweiligen Grenzflächen ab. Daher ist es wichtig, die gebildeten Phasen eindeutig zu identifizieren. Da sie nur wenige hundert Nanometer dick sind, werden hochauflösende mikrostrukturdiagnostische Methoden in Verbindung mit speziellen Zielpräparationsverfahren benötigt.

Identifikation verschiedener Phasen

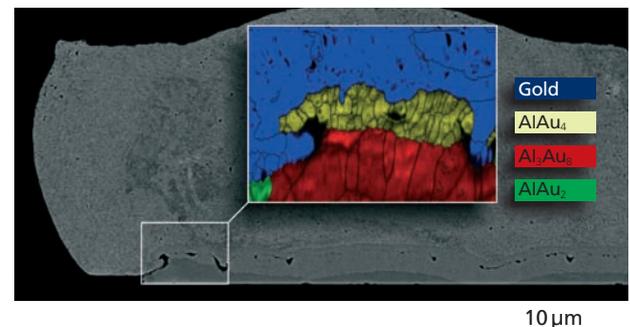
Die Identifikation kann auf Basis der hochauflösenden Elektronenbeugung im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) erfolgen. Als Alternative wurden am Fraunhofer IWM Routinen für die Phasenanalyse mittels Elektronenrückstreubeugung (EBSD) im Rasterelektronenmikroskop (REM) entwickelt. Beide Verfahren gestatten eine eindeutige Identifikation verschiedener Phasen auf Grundlage der kristallinen Gitterstruktur. Dadurch können auch solche Phasen sicher identifiziert werden, die infolge ähnlicher chemischer Zusammensetzung mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) nicht zu unterscheiden sind. In jedem Falle bedarf es spezieller Präparationsroutinen auf Basis der fokussierenden Ionenstrahltechnik beziehungsweise der großflächigen Ionenstrahlpolitur, welche für diesen Anwendungszweck weiter entwickelt wurden.

Einsatzbeispiele für mikroelektronische Bauelemente

Nun stehen Routinen zur Verfügung, mit denen alle für bleifreie SnAgCu-Lotkontaktierungen mit NiAu- oder CuOSP-Metallisierungen relevanten kristallinen Phasen mittels Elektro-

nenbeugung im REM oder TEM identifiziert werden können. Sie ermöglichen darüber hinaus die eindeutige Identifizierung der Gold-Aluminium-Phasen in Thermosonic-Drahtbondkontakten als auch Aussagen über deren lokale Verteilung (Abbildung 1). Durch die EBSD-Analysen ist es zusätzlich möglich, quantitative Informationen über die Kornorientierung, Korngröße und Kornverteilung innerhalb der jeweiligen Phase zu gewinnen. Das Fraunhofer IWM nutzt diese neuen Möglichkeiten für die technologische Prozessschrittentwicklung in enger Kooperation mit Industriepartnern sowie für die Zuverlässigkeitsbewertung und Fehleranalyse mikroelektronischer Bauelemente.

Michael Krause



1 Elektronenmikroskopische Abbildung eines Gold-Aluminium-Drahtbondkontaktes mit der lokalen Verteilung der intermetallischen Phasen (Ausschnitt), die durch Elektronenrückstreubeugung (EBSD) identifiziert wurden.

ERMÜDUNGSVERHALTEN VON DRAHTBONDKONTAKTIERUNGEN

Mit über neun Milliarden hergestellten Drahtverbindungen pro Jahr zählt das Drahtbonds zu den etabliertesten, kostengünstigsten und leistungsfähigsten Kontaktierungsverfahren im Bereich der Mikro- und Leistungselektronik. Besonders in leistungselektronischen Bauteilen sind diese Verbindungselemente starken Beanspruchungen wie hohen Temperaturen, Temperaturwechseln, großen elektrischen Strömen, aber auch mechanischen Vibrationen ausgesetzt. Besonders die mechanischen und thermischen Eigenschaften der Drahtmaterialien beeinflussen hierbei maßgeblich die Lebensdauer der Kontaktierungselemente und somit des betreffenden Bauteils. Um die Schädigungsmechanismen der Materialien zu verstehen und die Zuverlässigkeit der Bauteile zu erhöhen, befasst sich das Fraunhofer IWM mit der mechanischen und mikrostrukturellen Bewertung der Drahtwerkstoffe sowohl im Ausgangszustand als auch in gebondeten Baugruppen unter verschiedenen betriebsnahen Belastungsszenarien.

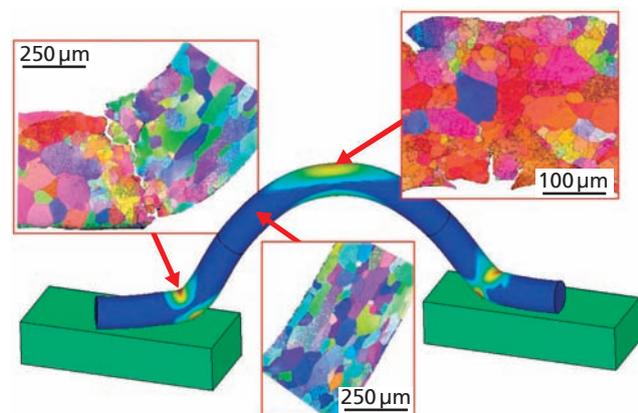
Charakterisierung von Drahtbondwerkstoffen unter wechselnder Beanspruchung

Neben dem elastischen Materialverhalten der Drähte bildet die genaue Beschreibung des plastischen Verformungsverhaltens eine wesentliche Voraussetzung, um die rechnerische Lebensdauerprognose zu verbessern. Dabei werden Ver- und Entfestigungsmechanismen bei zyklischer Belastung sowie Temperaturbeständigen berücksichtigt. In Kombination mit mikrostrukturanalytischen Verfahren wie EBSD (electron backscatter diffraction)-Analysen können auftretende Schädigungsmechanismen in der Kornstruktur mit den abgeleiteten Beanspruchungen korreliert und somit Schädigungsgesetze angepasst werden.

Simulation der thermo-mechanischen Belastung einer Dickdrahtkontaktierung

Durch die Verwendung geeigneter Materialmodelle ist es mit Hilfe von Finite-Elemente-Analysen möglich, Schwachstellen und lokale Beanspruchungen (Abbildung 1) in den Verbindungselementen zu identifizieren und daraus Optimierungen abzuleiten. Anhand dieser numerischen Simulationen kann gezeigt werden, wie zum Beispiel geringe Veränderungen der Bond-Loop-Geometrie, die Ausrichtung des Bondfußes oder die Wahl des Drahttyps zur signifikanten Erhöhung der Lebensdauer im Betrieb führen.

Falk Naumann



1 Drahtbond: Korrelation der Mikrostruktur (EBSD) mit lokal berechneter mechanischer Beanspruchung (blau = gering, rot = hohe plastische Dehnung).

Fraunhofer-Forschungszentrum FRAUNHOFER-CENTER FÜR SILIZIUM-PHOTOVOLTAIK CSP

Das 2007 gegründete Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP ist eine gemeinsame Einrichtung der Fraunhofer-Institute für Werkstoffmechanik IWM und Solare Energiesysteme ISE. Das Fraunhofer CSP ist in Halle lokalisiert und unterhält ein Modultechnologiezentrum in Schkopau. Das Fraunhofer CSP untergliedert sich in die Abteilung »Labor für Kristallisationstechnologie LKT« und die Abteilung »Zuverlässigkeit und Technologie für die Netzparität ZTN«. Die Abteilung ZTN konzentriert sich auf die Entwicklung von kostengünstigen Siliziumwafern und neuen Modultechnologien. Hierzu werden Technologien für die Siliziumwaferherstellung optimiert und Verfahren zur Fertigung von Solarmodulen entwickelt. Die Technologieentwicklungen werden durch Mikrostrukturdiagnostik, mechanische Charakterisierung und elektrische Bewertung unterstützt. Das Know-how in der Material- und Bauteilcharakterisierung wird zur Optimierung von Fertigungsprozessen bei Industriepartnern eingesetzt.

Bemerkenswertes aus 2010

Im Modultechnologiezentrum in Schkopau konnte im August Richtfest gefeiert werden, und für das Gebäude am »weinberg campus« in Halle fand unter Teilnahme des Wirtschaftsministers des Landes Sachsen-Anhalt, Dr. Reiner Haseloff, am 1. Oktober die Grundsteinlegung statt.

Zwei Arbeiten von CSP-Forschern wurden auf internationalen Tagungen mit dem »Best Poster Award« ausgezeichnet: So wurde Dr. Stephan Schönfelder für eine Arbeit zusammen mit Kollegen vom Massachusetts Institute of Technology auf der European Materials Research Society Tagung in Straßburg sowie Dr. Marko Turek und Jan Lich auf der European Photovoltaic Solar Energy Conference PVSEC geehrt.

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP
Prof. Dr. Jörg Bagdahn / Dr. Andreas Bett

Abteilung Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität
Prof. Dr. Jörg Bagdahn, +49 345 5589-129, joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

Gruppe
Diagnostik Solarzellen
Dr. Christian Hagendorf
+49 345 5589-179
christian.hagendorf@
csp.fraunhofer.de

Gruppe
Solarmodule
Dr. Matthias Ebert
+49 345 5589-117
matthias.ebert@
csp.fraunhofer.de

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

Abteilung Labor für Kristallisationstechnologien
Dr. Andreas Bett, +49 761 4588-5257, andreas.bett@ise.fraunhofer.de

Gruppe Diagnostik Solarzellen

Mit materialwissenschaftlichen Methoden – von der Spurenelementanalytik über die Quanteneffizienz bis hin zur atomaren Mikrostrukturdiagnostik – geht die Gruppe der Umwandlung von Licht in elektrische Energie auf den Grund. Die diagnostische Kompetenz entsteht durch die Wechselwirkung der Teams »Optische Charakterisierung und Photonenmanagement«, »Elektrische Charakterisierung« sowie »Mikrostrukturdiagnostik und Analytik«. Die Forschungsaktivitäten reichen von der Charakterisierung des kristallisierten Solarsiliziums bis zur mikrostrukturbasierten Defektdiagnostik für die Dünnschicht-Photovoltaikindustrie. Darüber hinaus werden in internationalen Kooperationen neue optische Materialien, Schichtsysteme und Laserstrukturierungen für die Solarzellen der nächsten Generation entwickelt.

Dr. Christian Hagendorf
christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de

Gruppe

Solarmodule

Die Gruppe beschäftigt sich mit der Modulzuverlässigkeit und der Modultechnologie. Im Fokus stehen dabei die materialwissenschaftliche Analyse der Komponenten, mechanische Versuche und Charakterisierungen am Modul, Leistungsmessungen im Labor und Feld sowie thermomechanische Finite-Elemente-Simulation. Ziel ist es, die Zuverlässigkeit der Module zu ermitteln, diese zu optimieren sowie technologische Prozesse weiterzuentwickeln. Die Auftraggeber erhalten eine umfassende Charakterisierung von Modulen aus einer Hand.

Das Modultechnologiezentrum in Schkopau wird sich mit der Integration neuer kristalliner Zellkonzepte, der mechanischen Zuverlässigkeit von großflächigen Dünnschichtmodulen sowie mit Möglichkeiten der Gebäudeintegration befassen.

Dr. Matthias Ebert

matthias.ebert@csp.fraunhofer.de

Gruppe

Siliziumwafer

Die Gruppe entwickelt Verfahren zur Herstellung dünner Siliziumwafer und zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften von Wafer und Solarzellen.

Das Forschungsangebot umfasst die gesamte Prozesskette des Waferings, beginnend bei der Vereinzelung von Ingots über das Wafersägen bis hin zur Vermessung und Sortierung. Zur Reduzierung der Bruchrate und der Erhöhung der Ausbeute werden neben Festigkeitscharakterisierungen auch Untersuchungen in industriellen Wafer- und Zelllinien vorgenommen.

Prof. Dr. Jörg Bagdahn

joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de



Prof. Dr. Jörg Bagdahn

Leiter Fraunhofer CSP und Abteilungsleiter

Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

SOLARMODULE

Dr. Matthias Ebert

matthias.ebert@csp.fraunhofer.de

THERMOMECHANISCHE BEWERTUNG VON EINGEBETTETEN SOLARZELLEN

Ein konventionelles Solarmodul auf Basis von kristallinen Zellen besteht aus einer Frontglasscheibe, einer Polymerfolie zur Einkapselung des Zellstrings und einem Rückseitenfolienverbund. Die eingebetteten Solarzellen sind in der Fertigung und im Betrieb mechanischen und thermomechanischen Belastungen ausgesetzt, wie sie durch den Laminationsprozess, Temperaturwechsel und mechanische Lasten (Wind- und Schneelast) auf die Module entstehen. Im Rahmen des Solarvalley Spitzencluster-Projekts » μ -Module« wurden diese Belastungen quantifiziert. Zudem hat das Team Maßnahmen im Produktionsprozess oder am mechanischen System gefunden, um die Zuverlässigkeit der Solarmodule zu verbessern. Hierfür stellt die Finite-Elemente-Simulation ein wichtiges Hilfsmittel dar.

Materialeigenschaften für die Simulation

Ziel der Simulation war es, die Deformationen und Spannungen einer Teststruktur mit drei Zellen zu berechnen. Dabei wurden die beiden thermomechanischen Lastszenarien »Laminationsprozess«, mit einer Starttemperatur von 150 °C, sowie »Temperaturwechsel« zwischen -40 und 85 °C nach IEC 61215 untersucht. Im mechanischen Lastszenarien wird eine Flächenlast von 2,4 kPa betrachtet. Zuvor wurden die temperaturabhängigen Materialeigenschaften des Verkapselungsmaterials EVA (Ethylen-Vinyl-Acetat) mittels dynamisch-mechanischer Analyse beziehungsweise thermomechanischer Analyse bestimmt. Die ermittelten Materialeigenschaften wie Schubmodul und Ausdehnungskoeffizient wurden später in die Simulation integriert.

Zur effizienten Untersuchung wurde das Submodellkonzept angewendet, bei dem ein vereinfachtes grob vernetztes Globalmodell die Verschiebungslösung liefert und ein fein ver-

netztes Submodell eine detaillierte Bestimmung des Spannungszustandes in einem ausgewählten Bereich erlaubt (Abbildung 1). Besonderes Interesse gilt hierbei der Region um die Kupferbändchen, die die einzelnen Solarzellen miteinander verbindet.

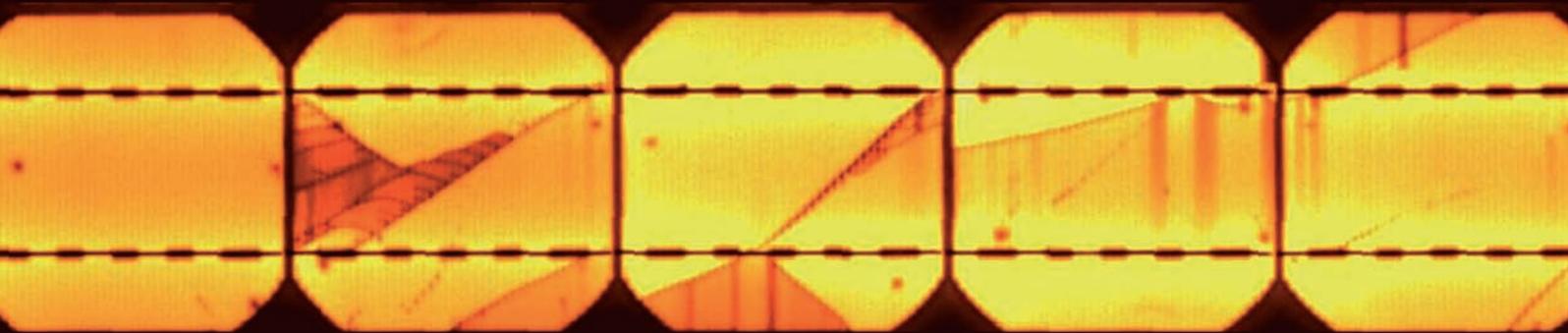
Solarzellenmaterial beeinflusst Tragverhalten

In der mechanischen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass das Verhalten der Teststruktur nicht nur von der Glasscheibe dominiert wird. Obwohl die Dicke der Solarzellen sehr viel geringer ist als die des Glases, leisten die Zellen einen signifikanten Beitrag zum Tragverhalten. Dieses Verhalten hängt zusätzlich stark von der temperaturabhängigen Steifigkeit des Verkapselungsmaterials ab, das den Zellstring mit dem Glas verbindet. Durch Variation von Temperatur und Zelldicke wird folglich die Verformung beeinflusst (Abbildung 1). Untersuchungen haben gezeigt, dass bei hohen Temperaturen und dickerer Polymerfolie die Beanspruchung der Zellen vermindert wird. Im umgekehrten Fall nehmen die Belastungen auf die Solarzellen erheblich zu.

Modulwölbung verringern

In den thermomechanischen Lastszenarien zum Laminationsprozess wurde festgestellt, dass die Modulwölbung stark von der Dicke der Zellen und der Folie abhängt. Die höchsten Belastungen in den Zellen treten dabei entlang der Busbars auf und konzentrieren sich an deren Ende. Durch Erhöhung der Polymerdicke konnte die Wölbung des Laminates verringert und die Spannung in den Zellen reduziert werden.

Die Simulation von Temperaturwechseln zeigt eine Hysterese der Zellbewegung, die der plastischen Deformation der Kupferbändchen geschuldet ist. Dies wiederum führt zu Veränderun-

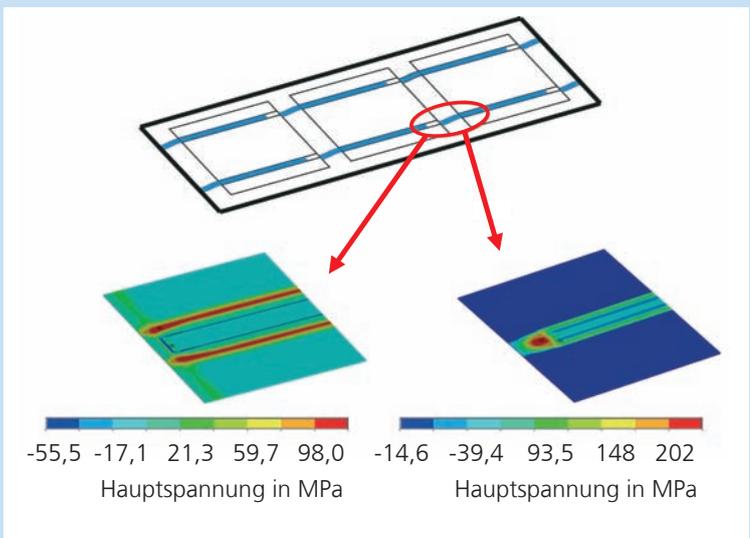


50 mm

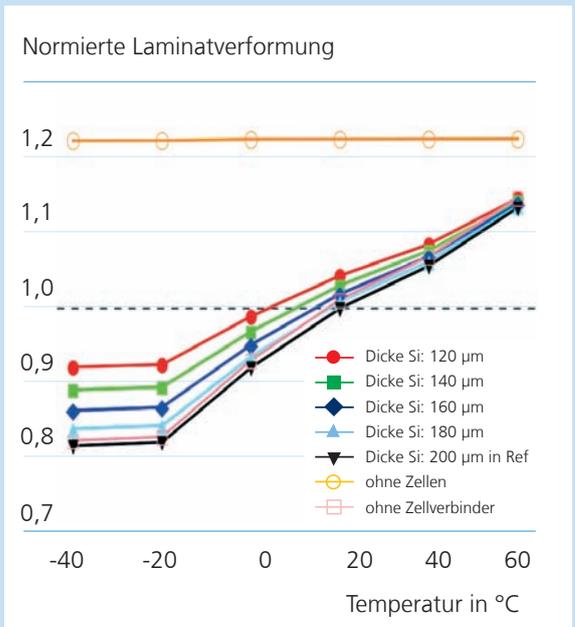
Elektrolumineszenzaufnahme eines Solarmoduls mit Rissen, die nach 20 Temperaturwechseln zwischen -60 und +85 °C aufgetreten sind.

gen in der Spannungsverteilung in den Zellen nach mehreren Temperaturwechseln. Mit diesen Erkenntnissen ist es möglich, Maßnahmen zur mechanischen Design-Optimierung von Solarmodulen hinsichtlich ihrer Verkapselung und der Verbindungstechnik abzuleiten.

Matthias Pander, Sascha Dietrich



1 Erste Hauptspannung im Submodell nach Abkühlung auf -40 °C.
Links: Frontansicht der Zelle. Rechts: Rückansicht der Zelle.



2 Normierte Verformung des Laminats unter Drucklast in Abhängigkeit von Temperatur und Zelldicke (Referenz: Zelldicke 200 µm bei 20 °C).

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

DIAGNOSTIK SOLARZELLEN

Dr. Christian Hagendorf

christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de

EIGENSPANNUNG: MIKRO-RAMAN-SPEKTROSKOPIE AN STRING-RIBBON-WAFERN

Die Raman-Spektroskopie ist eine zerstörungsfreie, spektroskopische Methode, mit der inelastische Streuprozesse (Raman-Streuung) von Licht an Molekülen oder Festkörpern untersucht werden können. Die Probe wird hierbei mit monochromatischem Licht aus einem Laser bestrahlt. Im Spektrum des an der Materie gestreuten Lichts werden neben der eingestrahnten noch weitere Frequenzen beobachtet. Die Frequenzverschiebungen zum eingestrahnten Licht entsprechen den für das Material charakteristischen Energien von Schwingungsprozessen. Spannungsfreies Silizium hat beispielsweise eine typische Schwingungsbande bei 520 cm^{-1} . Bei der Mikro-Raman-Spektroskopie wird das anregende Laserlicht zusätzlich durch ein Mikroskop auf die Probe fokussiert, so dass die Untersuchungen in einer sehr hohen räumlichen Auflösung möglich sind.

Druck verschiebt die Silizium-Schwingungsbande

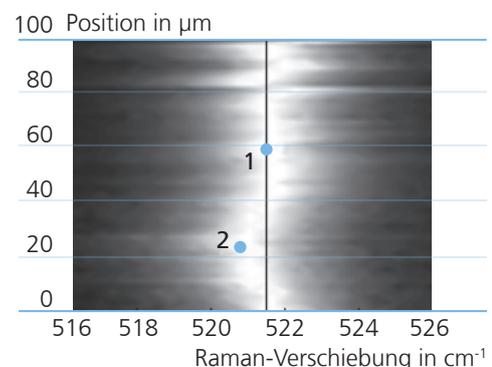
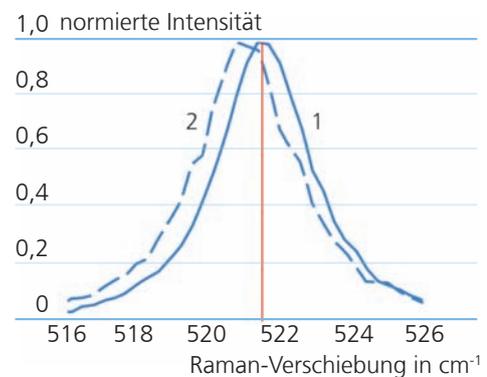
Das Fraunhofer CSP untersucht im Team »Optische Spektroskopie und Photonenmanagement« Eigenspannungen in Silizium mit Hilfe der Mikro-Raman-Spektroskopie. Die Eigenspannungen können die mechanische Festigkeit entscheidend beeinflussen. Unter Einfluss von uniaxialem Druck in [100] Richtung verschiebt sich die Silizium-Schwingungsbande bei etwa 500 MPa um 1 cm^{-1} .

Verteilung der Eigenspannungen

Abbildung 1 (oben) zeigt normierte Raman-Spektren, die für zwei verschiedene Positionen auf einem String-Ribbon-Wafer aufgenommen worden sind. Es ist eine Verschiebung von etwa $0,7 \text{ cm}^{-1}$ der Silizium-Schwingungsbande zu erkennen. Werden die Raman-Spektren nun in kleinen Schritten entlang einer Geraden auf dem Wafer gemessen, anschließend normiert und die Intensität in Grauwerte kodiert, so entsteht der in Abbildung 1 (unten) darge-

stellte 2-D-Plot für einen Linien-Scan. Aus dem Scan kann über die obige Beziehung die Verteilung der Eigenspannungen abgeschätzt werden.

Dr. Paul-Tiberiu Miclea, PD Dr. Stefan Schweizer



1 Oben: Verschiebung der Silizium-Schwingungsbande, gemessen an verschiedenen Positionen (siehe unteres Bild). Unten: 2-D-Plot normierter Raman-Spektren. Die Schwingungsbande des unverspannten Siliziums liegt bei $521,5 \text{ cm}^{-1}$.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Gruppe

SILIZIUMWAFER

Prof. Dr. Jörg Bagdahn
joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

PILOTLINE FÜR DAS WAFERING DÜNNER SILIZIUMWAFER

Solarmodule aus kristallinen Siliziumwafern (c-Si) stellen mit mehr als 80 Prozent den weltweit größten Anteil bei den Solarmodulen. In aktuellen Marktstudien wird erwartet, dass c-Si auch zukünftig diese dominierende Rolle beibehalten wird. Hierfür ist eine weitere Kostenreduzierung notwendig. Einen wichtigen Beitrag liefert dabei der Einsatz dünner Wafer, welcher zunehmend aus den Anforderungen von neuen Zelltechnologien entsteht. Damit kommt der Verarbeitung von kristallinen Silizium-Ingots eine strategische Rolle bei der Erreichung der Netzparität zu.

Das Wafering, als Zusammenfassung verschiedener Technologieschritte, stellt das Bindeglied zwischen Kristallisation und Zellfertigung dar. Es beinhaltet alle Fertigungsschritte die notwendig sind, um einen poly- oder monokristallinen Silizium-Ingots zu Wafern zu verarbeiten.

Optimierung in der Pilotlinie

Der enorme Kostendruck und die wachsenden mechanischen und elektrischen Anforderungen an dünnere Wafer bedeuten für jeden Hersteller eine ständige Weiterentwicklung und Optimierung der bestehenden Maschinen und Prozesse. Eine solche Entwicklung ist nur schwer in einem laufenden industriellen Produktionsprozess durchführbar.

Das Fraunhofer CSP trägt diesem Umstand mit einer Pilotlinie für das Wafering Rechnung. Durch Einsatz von industriekompatiblen Anlagen (Abbildung 1) wird die gesamte Wertschöpfungskette von der Vereinzelung von Ingots bis zur Wafercharakterisierung abgedeckt.

Hilfsstoffe und Prototypen nicht in der eigenen Herstellung testen müssen

Im Rahmen eines öffentlich geförderten Verbundvorhabens mit mehreren Industriepartnern entwickelt das Team Wafering beispielsweise Verfahren zu Herstellung und Handling von sehr dünnen Wafern. Mit der Pilotlinie können dabei nicht nur Einzelschritte – wie bisher an Forschungseinrichtungen üblich – bewertet, sondern auch der vollständige Fertigungsprozess abgebildet werden. Durch die flexible Auslegung der Linie ist es für Industriepartner möglich, neu entwickelte Hilfsstoffe zu testen, zum Beispiel im Bereich Sägeslurry, Sägedrähte oder Reinigungsmittel. Es ist zudem möglich, Prototypen neuer Anlagen zur Erprobung in die Linie zu integrieren.

Hartmut Schwabe, Prof. Dr. Jörg Bagdahn



1 Industrie-Multidrahtsäge zur gleichzeitigen Herstellung von mehreren Tausend Wafern.

FORSCHUNGSKOOPERATIONEN
UND IHRE ANSPRECHPARTNERINNEN
UND ANSPRECHPARTNER
IM FRAUNHOFER IWM

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. Holger Hanselka

Kontakt: Dr. Ursula Eul

ursula.eul@lbf.fraunhofer.de

www.vwb.fraunhofer.de

**crashMAT, Freiburger-Zentrum für crashrelevante
Material- und Bauteilcharakterisierung**

Die Fraunhofer-Institute IWM und EMI entwickeln und standardisieren Lösungen auf Basis experimenteller und numerischer Bewertungsmethoden zur Vorhersage des Versagens von Strukturkomponenten und der Crashesicherheit von Fahrzeugkomponenten.

Dr. Dieter Siegele

www.crashmat.de

Fraunhofer-Allianz Adaptronik

Adaptronik integriert aktuatorische, sensorische und regelungstechnische Funktionen in Strukturen. Ihr Einsatzpotenzial besteht in der Fahrzeugtechnik, dem Werkzeugmaschinen- und Anlagenbau, der Medizin-, Luft- und Raumfahrttechnik sowie der Optik und Wehrtechnik.

Dr. Bärbel Thielicke

www.adaptronik.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

Die 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. Thomas Hollstein

www.automobil.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Bau

Das umfangreiche Portfolio der Allianz richtet sich gleichermaßen an kleine und große Akteure in der Bauwirtschaft mit neuen und innovativen Technologien rund um Behaglichkeit, Energieeffizienz, Leistungsunterstützung und Nachhaltigkeit. Die Experten unterstützen Bauunternehmen von der Auswahl der richtigen Planungssoftware bis hin zum Baustoff-Recycling.

Prof. Dr. Andreas Heilmann

www.bau.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 Hochleistungskeramik

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 Leichtbau

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

Dr. Thomas Hollstein, Dr. Michael Busch

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

Die Allianz führt die vielfältigen Kompetenzen von Instituten unterschiedlicher Fraunhofer-Verbünde zusammen. Ihre Leitthemen sind derzeit: multifunktionelle Schichten für den Automobilbereich, das Design spezieller Nanopartikel für Biotechnik und Medizin sowie die Verwendung von Carbon-Nanotubes für aktorische Anwendungen.

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

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen

Die 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 die 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 Submikronstrukturen. Dazu werden insbesondere Beschichtungs- und Replikationsverfahren genutzt. Anwendungen sind beispielsweise Entspiegelung, Lichtlenkung, Beugungsgitter und Wellenleiter. Die Partnerins-

titute 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

Das Fraunhofer IWM arbeitet gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologien ICT und dem Institut für Kolbenmaschinen IFKM des Karlsruher Instituts für Technologie KIT an neuen Motorenkonzepten. Die neuen Antriebskonzepte sollen für die dezentrale stationäre Energieversorgung wie beim Mini-Blockheizkraftwerk eingesetzt werden. Sie sollen an Verbrennungsmotoren für nachhaltige Mobilität sorgen, entweder in Kombination mit einem Elektromotor oder als alleinige Antriebsquelle. Auch alternative Kraftstoffe und Energieträger werden in die Konzepte mit einbezogen. Die neue Fraunhofer-Projektgruppe bündelt als einzige in Deutschland die Kompetenzen in den Bereichen Verbrennungsmotor, chemische Energiespeicher, Leichtbau und Tribologie.

Dr. Thomas Hollstein

Die Gemeinschaftsforschung von Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft: Wirtschaftsorientierte Strategische Allianzen (WiSA) arbeiten an der Umsetzung neuer Technologien in die industrielle Praxis. Die marktorientierte strategische Vorlauftforschung (MaVo) ermöglicht anspruchsvolle Forschung an Zukunftsthemen.

Multifunktionale Membrankonstruktionen – Variable Membrankonstruktionen für den Leichtbau, WiSA

Ziel der Allianz ist es, die Eigenschaften und die Funktionalität von ETFE-basierten Membranen, Membrankissen und Kissen-Gesamtsystemen zu verbessern. Es soll ein bauphysikalisch und materialtechnisch optimierter Systembaukasten entstehen, mit dem sich einfach und zielgerichtet Anforderungen an ein membranumschlossenes Gebäude realisieren lassen.

Jörg Lucas, Prof. Dr. Andreas Heilmann

Wirtschaftliche Serienproduktion maßgeschneiderter Optikkomponenten aus Glas mit hohem Marktpotenzial (Tailored Optics), WiSA

»Tailored Optics« entwickelt und bewertet die gesamte Kette zur Herstellung von hochpräzisen Heißformwerkzeugen für optische Linsen aus Glas. Die Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung und Herstellung von Hartmetall-Formwerkstoffen, Verfahren zur Ultrapräzisionsbearbeitung der Funktionsflächen, der Beschichtung sowie von Einsatztests der Formwerkzeuge in Heißformgebungstechniken für verschiedene Anwendungsfelder.

Dr. Frank Burmeister, Dr. Peter Manns

Computer Aided Robust Design (CAROD), MaVo

»CAROD« erfasst quantitativ und qualitativ unsichere Herstellungs- und Einsatzbedingungen. Im Fokus steht das Design robuster Entwurfssysteme, die unvermeidbare Schwankungen von vornherein einbeziehen. Material wird charakterisiert und Demonstratoren, zum Beispiel zum Thema Crash, entwickelt.

Dr. Dong-Zhi Sun

Entwicklung einer Technologieplattform zur Herstellung multifunktionaler Hybridschäume (HybSch), MaVo

Im Projekt werden Verfahren zur Herstellung und Charakterisierung von Werkstoffen aus mehreren geschäumten Materialien entwickelt. Anwendung finden solche Verbundwerkstoffe in der mechanischen Energieabsorption in neuartigen Leichtbau-Crashelementen, im multifunktionalen Schallschutz und in leichten, hochsteifen Konstruktionselementen.

Dr. Jörg Hohe, Andreas Kromholz

Entwicklung technologischer Grundlagen für die Titanumformung (UfoTi), MaVo

Im Rahmen von »UfoTi« sollen die 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 auf Basis neuartiger Rapid-Prototyping-Verfahren. Das Projekt umfasst die Entwicklung neuartiger biokompatibler Ausgangsmaterialien für die generativen Fertigungstechniken, die Technologieentwicklung zur Fertigung eines Blutgefäßsystems sowie die Biofunktionalisierung des Gefäßsystems für dessen optimale zelluläre Besiedlung.

Dr. Raimund Jaeger

Low-Cost-Technologien für die Herstellung von Bauteilen aus Ceramic Matrix Composites, MaVo

Neue innovative Verfahren zur kostengünstigen Herstellung von Kurzfaserverstärkten keramischen Verbundwerkstoffen sollen entwickelt werden. Der Schwerpunkt des Projektes liegt in einer für CMC-Werkstoffe völlig neuartigen Technologieentwicklung zur Herstellung von Keramikhalbzeugen mit Hilfe von Gieß- und Pressverfahren, wie sie zur Massenproduktion von Kunststoffteilen bereits etabliert sind.

Dr. Bärbel Thielicke, Dr. Ralf Schäubel

Machbarkeit und Evaluierung transparenter und elektrisch leitfähiger Dünnschichtsysteme mit oxidischen Halbleiterschichten (METCO), MaVo

Durch Kontrolle der Defektchemie und Morphologie von transparenten, halbleitenden Oxiden werden bandgap-optimierte Materialsysteme sowie transparente, halbleitende Oxide entwickelt. Mit diesen Materialsystemen können deutlich kostengünstigere und effizientere Dünnschicht-Solarzellen und OLED-Displays realisiert werden. Weitere Anwendungen sind die transparente Elektronik für Displayanwendungen sowie niedrigemittierende, beschlaghemmende Beschichtungen für Architektur und Fahrzeugverglasungen.

Prof. Dr. Christian Elsässer

Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität

Mit der »Systemforschung Elektromobilität« verfolgt die Fraunhofer-Gesellschaft das Ziel, den Wandel zu einer nachhaltigen »All-electric Economy« wirkungsvoll zu unterstützen. Die Besonderheit des Fraunhofer-Ansatzes ist es, alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität zu betrachten und aufeinander abgestimmt zu erforschen – ausgehend von der Energieerzeugung, über den Transport und die Verteilung der Energie durch die Stromnetze, die Schnittstellen zwischen Stromnetz und Fahrzeug, die Energiespeicherung bis hin zu neuen Fahrzeugkonzepten mit einer neuen Infrastruktur sowie Nutzungs- und Abrechnungskonzepten.

Werkstoffmechanik spielt in der Elektromobilität eine wichtige Rolle. Daher bringt das Fraunhofer IWM in vielen Teileprojekten seine Expertise ein:

Radnabenmotor

- Auslegung Hybridlager
- Simulation PM-Weichmagnete
- Auslegung Batterieaufhängung

Auslegung Batteriegehäuse

- Entwicklung von Leichtbaulösungen für die Karosserie
- Bewerten des Crashverhaltens der Batterieaufhängung

Energiespeichertechnik

- Simulation von Batteriematerialien

Systemintegration

- Simulation magnetorheologische Kupplung

Eine ausführliche Darstellung ausgewählter IWM-Aktivitäten finden Sie im Jahresbericht auf den Seiten 20 und 24.

Dr. Thomas Hollstein, Dr. Michael Luke

**Innovationscluster fördern die Vernetzung zwischen
Wirtschaft, Hochschulen und FuE-Einrichtungen in
Technologiefeldern mit hohem Innovationspotenzial.**

Polymertechnologie, Halle

Großunternehmen der Polymersynthese, mittelständische Unternehmen der Polymerverarbeitung sowie Forschungseinrichtungen entwickeln neue Technologien für Polymersynthese und -verarbeitung. Das mikrostrukturbasierte Materialdesign beinhaltet die Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen und die Steuerung der Strukturbildungsprozesse während der Verarbeitung. Zudem werden anwenderspezifische Polymere entwickelt. Schwerpunktmäßig bearbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Polymer-Nanopartikel-Blends, neue Kautschuktypen sowie Biopolymere und Naturfaserkomposite.

Dr. Michael Busch

**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. Thomas Hollstein

**Im Rahmen des Pakts für Forschung und Innovation wird
die Grundlagenforschung der Max-Planck-Gesellschaft
durch die anwendungsorientierte Forschung der Fraunhofer-
Gesellschaft in die wirtschaftliche Nutzung überführt.**

Dem Stahl auf seinen kristallinen Grund gehen

Um genauere Simulationsmodelle für moderne Leichtmetalle (wie TRIP- und TWIP-Stähle) zu entwickeln, muss ihr Verhalten bis zu den einzelnen Kristalliten verstanden werden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung und des Fraunhofer IWM in Freiburg entwickeln Multiskalenmodelle, mit denen sie voraussagen können, warum ein einziges metallisches Bauteil an verschiedenen Stellen völlig unterschiedliches Materialverhalten zeigt. Zudem erforschen sie, wie der Herstellungsprozess gezielt gesteuert werden kann. Der Bedarf an solchen Modellen ist groß in der Mikrosystemtechnik, dem Automobilsektor oder der Elektrotechnik.

Prof. Dr. Hermann Riedel,

Dr. Dirk Helm (Projektleiter am IWM)

NanoSTRESS messbar machen

Im Projekt NanoSTRESS kooperieren das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und das Fraunhofer IWM, um die Wirkung von Materialverspannungen auf die Funktionalität nanostrukturierter Halbleiterkomponenten zu untersuchen. Um geeignete Messverfahren zur Deformations- und Spannungsanalyse mit hoher Ortsauflösung bereitzustellen, werden neue Möglichkeiten durch Elektronenstrahlbeugung in Kombination mit nanometergenaue Zielpreparation durch fokussierende Ionenstrahltechnik entwickelt. Die Wirkung der Nanostrukturierung auf den Spannungszustand dünner Halbleiterschichten konnte mittels Finite-Elemente-Simulation in guter Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen modelliert werden. Dadurch kann die technische Prozessierung von lokal verspannten Halbleiterbasismaterialien mit verbesserten elektronischen Eigenschaften durch ein werkstoffmechanisches »Stress-Engineering« unterstützt werden.

Prof. Dr. Matthias Petzold

AUSSTATTUNG

Mechanische Prüfung und Bewertung

- 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
- 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
- Hochgeschwindigkeitsprüfeinrichtungen für stoß- und crashartige Belastungen bis 360 km/h (Druckgasbeschleunigungsanlage)
- Schnellzerreißmaschinen bis 100 kN und Abzugsgeschwindigkeiten bis 20 m/s
- Pendelschlagwerke von 1 bis 750 J
- Fallgewichtsanlagen bis 7 000 J
- Hochgeschwindigkeitskameras mit bis zu 1 Million Bilder/s
- 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
- Mechanischer Solarmodulprüfstand
- Scannendes Laser-Doppler-Vibrometer
- Vakuu-, Klima- und Temperaturprüfkammern
- Korrosionsprüfstände für wässrige und gasförmige Medien
- Induktive Erwärmungsanlagen
- Jominy-Versuchsstand
- Gleeble (Thermomechanische Umformanlage)
- 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 1 500 Hz
- Nanoindenter mit Temperierung
- Scratch-Tester mit Scanning-Option
- Mikro- und Makrohärteprüfer (vollautomatisch und manuell), mobile Härtemessung
- Registrierender Eindruckversuch bis 600 °C
- Rücksprunghärtemessgerät
- 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

Material- und Oberflächencharakterisierung

- Transmissionselektronenmikroskop (TEM 200 kV) mit Röntgenanalysesystem (Nanospot-EDX)
- Einstrahl-Fokussierende Ionenstrahlanlage (FIB) mit integriertem IR Mikroskop
- Zweistrahl-FIB-Anlage mit In-situ-Manipulator
- Zweistrahl-FIB-Anlage mit EBSD- und EDX-Analytik
- Rasterelektronenmikroskope (REM) mit Röntgenanalyse (EDX, WDX) und Beugungsanalyse (EBSD)
- REM mit elektronenstrahlinduzierter Strommessung (EBIC)
- Asmoshärisches REM (ESEM) mit EDX-Analyse
- Kombinierte ESEM-FIB-Anlage mit Kryopräparation und Transferkammer
- Präparationstechniken: Präzisionsdrahtsägen, diverse Schleif- /Poliermaschinen und Ar-Ionenätzanlagen, Präzisionsschleifanlagen für Zielpreparation, Plasma-Cleaner, C-Bedampfung und Sputter-Coater, Rotationsmikrotom, Ultramikrotom, Kritisch-Punkt-Trocknung, Kryofixierung
- Time-of-Flight-Sekundärionen-Massenspektroskopie (ToF-SIMS)
- Photoelektronenspektroskopie mit Abtragsmodus, Tiefenprofil (XPS)
- Tiefenprofil-Glimmentladungsspektrometer (GDOES)
- ICPMS mit Laserablation, chemischem Aufschluss, elektrothermischer Verdampfung
- Kontaktwinkelmessung
- Plasmaanalytiksystem (OES, VI-Probe, SEERS)
- Konfokales Ramanmikroskop

AUSSTATTUNG

- Dynamische Widerstandsmessung für hochohmige dünne Schichten (piezoresistive Effekte messbar)
- Automatischer Messplatz für Picoamperemessungen
- Rasterkraftmikroskope (AFM), u.a. mit Lateralkraftmessung und Flüssigkeitsmeßzelle
- Weißlichtinterferometer
- Konfokal-Laserscanningmikroskope
- Rauheits-Messeinrichtungen, Profilometer
- Interferometrische Eigenspannungsmessung
- Dynamische Widerstandsmessung für hochohmige dünne Schichten (piezoresistive Effekte messbar)
- Automatischer Messplatz für Picoamperemessungen
- Waferdickenbestimmung
- Interferometer mit Phasenschieber für Konturmessung von Asphären
- Lichtmikroskope, Dunkelfeld- und DIK-Modus (bis 1 500-fache Vergrößerung)
- Quantitative Bildanalysesysteme: UV/VIS-Spektrometer und Spektralellipsometer
- UV/VIS-Spektroskopie
- Elektrolumineszenz- und Photolumineszenz-Spektroskopie – Infrarot-Mikroskopie
- ATR-FTIR-Spektroskopie und -Mikroskopie
- Mikro-Raman-Spektrometer
- IR-Spannungsoptik
- Verfahren zur Messung der Ladungsträgerlebensdauer (Mikrowellen-Photoconductance-Decay, quasistatische Photoleitfähigkeit)
- Röntgendiffraktometer für Spannungsmessung, Textur- und Phasenanalyse mit Hochtemperatureinrichtung bis 2 300 K und Dünnschichtanalyseeinrichtung
- Drei mobile Diffraktometer für Eigenspannungsanalysen
- Mikrodiffraktometer (laterale Auflösung von 50 µm)
- Bohrlochverfahren für tiefenauflösende Eigenspannungsanalysen
- 3-D-Röntgen-CT-Inspektionsanlage
- Lock-in-Thermographie mit elektrischer und optischer Anregung
- Akustische Mikroskopie (bis GHz)
- Dynamische Differenzkalorimetrie
- Thermogravimetrische Analyse
- Differential-Thermoanalyse
- Temperatur- und Wärmeleitfähigkeitsmessung (Laser-Flash-Methode)
- Nanoindenter mit Temperierung
- Scratch-Tester mit Scanning-Option
- Mikro- und Makrohärteprüfer (vollautomatisch und manuell), mobile Härtemessung
- Registrierender Eindruckversuch bis 600 °C
- Rücksprunghärtemessgerät
- Mikrotribometer
- Dilatometer
- Thermomechanische Analyse (TMA)
- Rotationsrheometer
- Hochdruckkapillarviskosimeter
- Schmelzfestigkeits- und Schmelzindex-Messgeräte
- HDT-Wärmeformbeständigkeits- und Vicat-Erweichungstemperaturmessung
- Dielektrische Analyse (DEA)
- Schubstangendilatometer
- Wasserstoffanalysator inkl. Auslagerungsöfen
- Stickstoff- und Sauerstoffanalysator
- Dichte- und Porositätsmesseinrichtungen
- Wasserstoffpermeationsprüfstand mit Zug- und Temperatureinrichtung
- Karl-Fischer-Titrator (Feuchtemessung)
- Restgasanalysator
- Gaspermeationsmessgerät

Beschichtung, Oberflächentechnik

- Plasma-CVD-Beschichtungsanlagen (CCP/ICP)
- DC-Puls-Beschichtungsanlage
- Hochfrequenz-Magnetron-Bias-Beschichtungsanlage
- Ionenstrahlunterstützte Elektronenstrahlverdampfungs- sowie andere Bedampfungs- und Sputteranlagen
- Coronabehandlungsanlagen für Polymerfolien
- Mehrkammerbeschichtungsanlage
- Anlage zur Plasmapolymersation
- Plasmaätzenanlagen
- Nasschemische Beschichtungsanlagen (Spin-Coating, Rakelbeschichtung, Tauchbeschichtung)
- Elektrostatische Spinneinrichtung
- Ionenätzenanlage 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
- Präzisionsdreh- und -fräsmaschinen
- Kugelstrahlanlagen zur Verfestigung und Strukturierung von Oberflächen

AUSSTATTUNG

Polymerverarbeitung im IWM und PAZ

- Gleichdrehender Labordoppelschneckenextruder
- Minicompounder mit konischen Doppelschnecken (gleich- oder gegendrehend)
- Messknetzer bis 400 °C (elektrisch beheizt) bzw. 200 °C (flüssigtemperiert)
- Minispritzgießanlage
- 2 Spritzgießcompounder (Schließkraft von 1 300 und 3 200 t)
- Ein- und Doppelschneckenextruder verschiedener Größe und Schneckenengeometrie
- Spritzgießmaschine, Schließkraft 200 t, Schussgewicht bis 480 g.
- Polyurethan-Anlage
- Faserschneider (50–500 mm/min für 3 000–65 000 dtex)
- Laminat-Pressen
- Berechnungswerkzeuge

Berechnungswerkzeuge

Hardware

- Linux-Serverfarmen und Linux-Cluster mit 32-Bit- und 64-Bit-Prozessoren, Parallel-Rechner auf IA64-Basis mit Shared-Memory (SMP)

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
- 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, semiempirische tight-binding-Elektronenstrukturmethoden, Molekularstatik- und Molekulardynamik-Methoden mit Bond-Order-Potenzialen und mit klassischen Mehrkörper-Kraftfeldern
- »optiSLang« für multidisziplinäre Optimierung, Sensitivitätsstudien, Robustheitsbewertungen, Zuverlässigkeitsanalysen sowie Robust-Design-Optimierung
- »SimPARTIK« zur partikelbasierten Simulation auf Basis der Diskrete-Elemente-Methode und der Smoothed-Particle-Hydrodynamics-Methode
- Thermokinetik Software zur Berechnung physikalischer und chemischer Vorgänge

Preise und Ehrungen

HTWK-Preis Mechatronik der Karl-Kolle-Stiftung an Stefan Ladisch »Automatisierung der bildanalytischen Risslängenbestimmung zur Auswertung bruchmechanischer Versuche«
16.01.10, Leipzig

MBDA-1-Star-Innovation-Award von MBDA Missile Systems an Ralf Schäuble und Matthias Petersilger »Hervorragender technologischer Beitrag zur C-C/SiC Rocket Motor Nozzle Technology«
15.03.10, Unterschleißheim

Der Förderpreis des Halleschen Bezirksvereins Verein Deutscher Ingenieure (VDI) an Marianne John »Untersuchungen zum Rissfortschritt in CFK-Schaum-Sandwichstrukturen«
17.04.10, Halle

Werkstoffmechanik-Preis der Plansee SE an Christian Dresbach »Ermittlung lokaler mechanischer Kennwerte mikroelektronischer Drahtkontaktierungen«
28.04.10, Freiburg

Preis für beste Abschlussarbeit, verliehen vom Freundeskreis Hochschule Merseburg (FH), an Raiko Meinhardt »Entwicklung einer Abtragsteuerung für eine fokussierende Ionenstrahlanlage«
10.05.10, Merseburg

Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2010 an Bernhard Blug und Thomas Hollstein (mit weiteren Fraunhofer-Instituten) »Entwicklung diamantbeschichteter Keramik«
19.05.10, Leipzig

Best Poster Award, E-MRS 2010, Spring Meeting an Stephan Schönfelder (mit Vidya Ganapati, Sergio Castellanos, Sebastian Oener, Tonio Buonassisi) »Infrared birefringence imaging of residual stress and bulk defects in multicrystalline silicon«
10.06.10, Strasbourg, Frankreich

Dr.-Ing. Willy-Höfler Preis am KIT für beste Diplomarbeit im Bereich Werkstofftechnik an Sebastian Burget »Versagensmodellierung des höherfesten Dualphasenstahls DP800 für die durchgängige Simulation vom Umformen bis Crash«
16.07.10, Karlsruhe

Best Poster Award, 5th European Photovoltaic Solar Energy Conference an Marko Turek und Jan Lich »Comparison of carrier-lifetime measurement methods on mc-Si blocks«
07.09.10, Valencia, Spanien

Klaus-Tschira-Preis für Verständliche Wissenschaft an Janina Zimmermann »Atome auf dem Bazar«
14.10.10, Heidelberg

Goldmedaille der Griechischen Polymervereinigung an Roland Weidisch »Auszeichnung für wissenschaftliche Forschungsarbeit auf dem Gebiet der superelastischen Polymere«
29.10.10, Kreta, Griechenland

1. Preis bei der EPMA PM 2010 Thesis Competition an Claas Bierwisch für die Dissertation »Numerical Simulations of Granular Flow and Filling«
11.10.10, Florenz, Italien

cfi-Award der Deutschen keramischen Gesellschaft DKG für den Vortrag »Numerische Simulation von keramischen Fertigungsprozessen« an Torsten Kraft
01.12.10, Erlangen

Gäste im Institut Freiburg

Tawheed Hashem Abdel-Razek Al-Azhar University Kairo
01.3.10-30.6.10

Nils Beckmann Robert Bosch GmbH
12.07.10-14.07.13

Prof. Paul Bristowe Cambridge University
18.11.09-31.10.11

Mathias Dietrich Fraunhofer ICT
01.05.08-30.04.11

Georg Falkinger Voestalpine AG
01.10.07-31.12.10

Matthias Gurr Universität Freiburg
01.04.06-30.06.10

Tobias Hoppe Robert Bosch GmbH
01.02.10-31.01.11

Paul Kamenski Oxford University
15.03.10-26.03.10

Qiao Liang Nanjing University of Science & Technology China
01.10.10-30.09.11

Pavel Marton Technische Akademie der Wissenschaften, Prag
01.10.10-15.10.10

Felix Mohr Daimler AG
01.08.10-31.03.11

Prof. Tony Paxton Queen's University Belfast
01.10.08-30.09.11

Christian Schmidt TU Freiberg
26.04.10-30.04.10

Michael Walter Freiburger Materialforschungszentrum
01.07.08-30.06.11

Prof. Tomasz Wierzbecki Massachusetts Institute of Technology
29.03.10-31.09.10

Gäste im Institut Halle

Manuela Miclea Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
01.05.09-31.12.10

Johanna Olofsson Universität Uppsala
01.11.10-30.11.10

Christian Paßlick Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
25.06.08-30.09.11

Charlotte Pfau Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
01.08.09-31.07.11

Dissertationen in Freiburg

Gurr, Matthias Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Dreidimensionales Drucken von Tektton-Netzwerken Neue photohärtende Nanokomposite zur Anwendung im Rapid Prototyping, Tooling und Rapid Manufacturing

Khader, Iyas Karlsruhe Institut für Technologie KIT Silicon nitride based ceramic wire-rolling tools Damage mechanisms in silicon nitride rolling tools applied in caliber rolling copper and steel wires

Kohn, Cordula Karlsruhe Institut für Technologie KIT Reduzierung von Spannungen und Untersuchung von Bruchmechanismen bei der Herstellung von Silizium-Solarzellen

Pastewka, Lars Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Quantenbasierte Modellierung der mechanischen und elektrolytischen Eigenschaften von Kohlenstoff-nanoröhrchen

Prakash, Aruna Karlsruhe Institut für Technologie KIT Computational micromechanics of polycrystals: special emphasis on twinning and recrystallization in Mg alloys and TWIP steels

Ziegler, Tobias Karlsruhe Institut für Technologie KIT Struktur-Eigenschaftsbeziehungen in lamellaren Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen

Dissertationen in Halle

Dresbach, Christian Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Ermittlung lokaler mechanischer Kennwerte mikroelektronischer Drahtkontaktierungen

HöB, Andreas Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Nanoporöse Aluminiumoxidmembrane als Trägermaterialien für Zellkulturen

Junghans, Frauke Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Herstellung und werkstoffmechanische Eigenschaften von Seidenproteinschichten

Schönfelder, Stephan Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Festigkeit dünner Siliziumsubstrate

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

Blockhaus, André TU Ilmenau Tribologische Untersuchungen von Polymeren unter verschiedenen Umweltbedingungen (D)

Fild, Katharina Hochschule Offenburg Inbetriebnahme eines neuartigen Biegeversuchprüfstands für sehr dünne Bleche (B)

Jiao, Mingkui Karlsruhe Institut für Technologie KIT Tribologie und Thermodynamik (D)

Koch, André Karlsruhe Institut für Technologie KIT Identifikation, Modellierung und Simulation der Materialeigenschaften von Blechwerkstoffen in Umformungsprozessen (D)

Mat-Daud, Azreen Hochschule Reutlingen Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Versagensverhalten von Formschlussverbindungen in faserverstärkten Kunststoff-Metall-Hybridverbunden (B)

Noor, Aman Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Einfluss der Einsatztemperatur auf das Festigkeitsverhalten von Kunststoff-Metall-Hybridverbindungen (D)

PERSONEN, AUSBILDUNG, EREIGNISSE

Schley, Armin
Hochschule Offenburg (FH)
Verifikation von Materialmodellen zur Vorhersage der Containersicherheit beim Bersten von Laufrädern in Abgasturboladern (D)

Tritschler, Matthias
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Versuchsentwicklung zur Charakterisierung der Kantenrissneigung beim Walzen von Aluminiumblech (D)

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

Aurin, Amadeus
Hochschule Merseburg (FH)
Anwendung der akustischen Rastermikroskopie zur quantitativen Bewertung der Kariesprophylaxe (B)

Bauer, Florian
Hochschule Anhalt (FH), Köthen
Aufbau und Entwicklung eines Messplatzes zur Untersuchung der Permeabilität von Dentin (B)

Breyer, Ralf
Hochschule Merseburg (FH)
Aufbau eines Messplatzes zur Untersuchung von Luftultraschallwandlern (B)

Bukhari, Mohtashim
Ludwig-Maximilians-Universität München
Preparation & characterisation of sputtered silicon thin films (D)

Dockhorn, Marco
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK)
Materialplastizität von Silizium bei hohen Temperaturen und deren Anwendung im Finite-Elemente-Programm ANSYS (B)

Fischer, Denis
Hochschule Anhalt (FH), Köthen
Konstruktion einer Vorrichtung zur Charakterisierung der Haftfestigkeit von Polymerverbunden (B)

Fischer, Simon
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK)
Mechanische Beanspruchungsanalyse und Optimierungsansätze für ein CFK-Kraftfahrzeugrad (B)

Fritz, Martin
Fachhochschule Jena
Herstellung und Charakterisierung eines nativen Epoxidharzschäumstoffs (D)

Hirsch, Ulrike
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Mikromechanische und spektroskopische Charakterisierung von Seidenproteinschichten (D)

Hoffmann, Marcus
Hochschule Anhalt (FH), Köthen
Applikationen von Mikrosensoren in ETFE-Folienkissen (M)

Hornbogen, Ronny
Hochschule Merseburg (FH)
Zerstörungsfreie Prüfung von Faserverbundlaminaten mittels Puls-Phasen-Thermographie (B)

Koch, Katharina
Hochschule Anhalt (FH), Köthen
Herstellung und Charakterisierung von elektrisch leitenden Lackschichten für Antifoulingssysteme (B)

Köpge, Ringo
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Einfluss von Temperaturbehandlung auf Versetzungen in Silizium unterhalb des Spröd-Duktil-Übergangs (D)

Krause, Thomas
Hochschule Merseburg (FH)
Qualitätsbewertung von FIB präparierten TEM-Proben nach der zusätzlichen Bearbeitung von niederenergetischen Argon-Ionen (M)

Kretzschmar, Tom
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK)
Entwicklung einer plattenartigen Leichtbau-Trägerstruktur aus einer Metall-Kunststoff-Werkstoffkombination (M)

Lange, Isabel
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Mikrostrukturuntersuchungen an demineralisiertem Zahnschmelz mittels Mikrohärteuntersuchungen und bildgebenden Mikro-Röntgen-Untersuchungen (D)

Lösche, Sebastian
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Ein Beitrag zur Eigenspannungsanalyse an einem polymeren Dreischichtverbund (D)

Mann, Christian
Hochschule Anhalt (FH), Köthen
Entwicklung und Konstruktion eines Werkzeuges zum Verschäumen nativer Epoxidharze (B)

Rudolph, Maik
Hochschule Anhalt (FH), Köthen
Hochfrequenz-Plasmaoberflächenbehandlung (M)

Schmutzler, Lars
Hochschule Merseburg (FH)
Modellierung von viskoelastischem Materialverhalten von Verkapselungsmaterialien in Photovoltaikmodulen (M)

Schubbert, Christian
Universität Greifswald
Investigation to mechanical characteristics of large area thin film photovoltaic modules (D)

Shrestha, Manoj
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Biocompatibility and mechanical properties of ETFE copolymer foils (M)

Stransky, Christopher
Hochschule Merseburg (FH)
Entwurf und Programmierung einer adaptiven Regelung für einen pneumatisch doppeltwirkenden Kolbenzylinder (M)

Wagner, Thomas
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Untersuchungen von CFK-Schaum-Sandwichstrukturen unter fertigungs- und umgebungsbedingten thermischen Lasten (D)

Willner, Frank
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Charakterisierung von Polymerhartschaumstoffen durch mechanische Experimente und Röntgen-CT-Analyse (D)

Vorlesungen

WS 2009/2010

Superconductivity 1
Prof. Dr. Christian Elsässer
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Theory of atomic clusters: concepts and computations/Theorie der atomaren Cluster: Konzepte und computergestützte Modellierung
Prof. Dr. Michael Moseler
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Silizium: Eigenschaft, Herstellung, Kristallisation, Waferfertigung
Prof. Dr. Jörg Bagdahn
Hochschule Anhalt (FH), Köthen

Microsystems Technology
Prof. Dr. Andreas Heilmann
Hochschule Anhalt (FH), Köthen

Sensor- und Aktortechnik
Prof. Dr. Andreas Heilmann
Hochschule Anhalt (FH), Köthen

Modulvorlesung Photovoltaik
Dr. Christian Hagendorf
Hochschule Merseburg (FH)

Einführung in die Mikrosystemtechnik
Prof. Dr. Matthias Petzold
Hochschule Merseburg (FH)

Medizinische Physik und Technik
Dr. Stefan Schweizer
Hochschule Merseburg (FH)

Atomistische Simulation und Molekulardynamik
Prof. Dr. Peter Gumbsch
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Versagensverhalten von Konstruktionswerkstoffen: Verformung und Bruch
Prof. Dr. Peter Gumbsch
Prof. Dr. Oliver Kraft
Dr. Daniel Weygand
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Halbleiterphysik
Dr. Stefan Schweizer
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Halbleiterphysik
Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tribologie A
Prof. Dr. Matthias Scherge
Dr. Martin Dienwiebel
Karlsruher Institut für Technologie KIT

SS 2010

Superconductivity 2
Prof. Dr. Christian Elsässer
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Elektronische Struktur der Materie
Prof. Dr. Michael Moseler
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Advanced Photovoltaik
Prof. Dr. Jörg Bagdahn
Hochschule Anhalt (FH), Köthen

Werkstoffmechanik und Konstruktion
Andreas Kromholz
Hochschule für Kunst und Design Burg

Auslegung, Zuverlässigkeit und Diagnostik von Mikrosystemen
Prof. Dr. Matthias Petzold,
Hochschule Merseburg (FH)

Physik für Ingenieure
Prof. Dr. Peter Gumbsch
Prof. Dr. Volker Saile
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Physik für Ingenieure
Prof. Dr. Peter Gumbsch
Prof. Dr. Volker Saile
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Tribologie B
Prof. Dr. Matthias Scherge
Dr. Martin Dienwiebel
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Surface Science
Prof. Dr. Andreas Heilmann
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Angewandte Mechanik – Plastizität
Dr. Jörg Hohe
Universität Siegen

PERSONEN, AUSBILDUNG, EREIGNISSE

Vom Fraunhofer IWM Freiburg organisierte Veranstaltungen

Werkstoffsimulation: Prozessketten und Multiskalenmodellierung
Fest- und Fachkolloquium zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Hermann Riedel
21.01.10, Freiburg

Girl's Day
Workshop für Schülerinnen
22.04.10, Freiburg

Tribologie berechenbar machen
Eröffnung des MikroTribologie Centrums µTC
11.-12.05.10, Karlsruhe

Materials, Processes and Components
6th German-Japanese Seminar
08.-10.07.10, Freiburg

Multiscale Materials Modeling
MMM2010, Fifth International Conference
04.-08.10.10, Freiburg

Hochleistungskeramik: Konstruktion und Prüfung
Weiterbildungsseminar
Fraunhofer-Demonstrationszentrum AdvanCer
11.-12.11.10, Freiburg

Vom Fraunhofer IWM Halle organisierte Veranstaltungen

Prozess- und produktoptimierte Einstellung von Spritzgießmaschinen
Workshop
14.01.10, Leipzig

Gedenkkolloquium für Prof. Dr. Ulrich M. Gösele
11.03.10, Halle (Saale)

Girl's Day
Workshop für Schülerinnen
22.04.10, Halle (Saale)

Fraunhofer-Materialforschung im Dienste der Zahnheilkunde
Workshop
07.05.10, Halle (Saale)

Innovative Nassbeschichtung – Ergebnisse des Innovativen regionalen Wachstumskerns »ReactiveWetCoating 2«
Workshop
23.06.10, Halle (Saale)

Lange Nacht der Wissenschaften
02.07.10, Halle (Saale)

Electron beam induced current imaging (EBIC) and focused ion beam techniques (FIB) for photovoltaics applications
Workshop
01.09.10, Halle (Saale)

Spurenanalytik in der Photovoltaik
Workshop
16.09.2010, Halle (Saale)

Mechanical Issues in Manufacturing & Application of Solar Cells and Modules
Workshop
27.-28.09.10, Halle (Saale)

50 Jahre Elektronenmikroskopie in Halle und 90. Geburtstag von Prof. Dr. Heinz Bethge
Kolloquium
15.-16.11.10, Halle (Saale)

Messen mit Fraunhofer IWM-Beteiligung

World Future Energy Summit
18.-21.01.10, Abu Dhabi

JEC Composites
Fraunhofer-Gemeinschaftsstand
13.-15.04.10, Paris

Hannover Messe
Fraunhofer-Gemeinschaftsstände
Adaptronik und Hochleistungskeramik
19.-23.04.10, Hannover

Eurolite, Fachmesse für Leichtbaukonstruktionen
08.-10.06.10, Nürnberg

Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition PVSEC
06.-10.09.10, Valencia, Spanien

Composite Europe
Fraunhofer-Gemeinschaftsstand
14.-16.09.10, Essen

Glasstec
Fraunhofer-Gemeinschaftsstand
28.09.-01.10.10, Düsseldorf

Internationale Messe für Kunststoff und Kautschuk
27.10.-03.11.10, Düsseldorf

Erteilte Patente 2010

Dienwiebel, M.; Scherge, M.; Weber, M.; Gumbsch, P.
Verfahren zur Fertigbearbeitung einer Oberfläche eines Werkstücks unter Ausbildung eines Dritten Körpers
Patent-Nr. DE 10 2008 034 447 B3

Bierwisch, C.; Moseler, M.; Kraft, T.; Riedel, H.
Verfahren und Vorrichtung zur Homogenisierung einer Pulverschüttung bei der Herstellung von Pulverpresslingen
Patent-Nr. DE 10 2009 005 859 B3

Ausgründungen

Second Solar Century GmbH

MITARBEIT IN GREMIEN, AUSSCHÜSSEN, BERATERTÄTIGKEITEN

Alexander von Humboldt-Stiftung AvH

Auswahlausschuss Alexander von Humboldt-Professur: P. Gumbsch

American Society for Testing and Materials

Committee E08 on Fracture Testing of Metals: D. Siegele

Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik AWT

FA Härteprüfung: T. Seifert, S. Meyerhoff

FA Eigenspannungen: W. Pfeiffer, E. Reisacher

FA Strangpressen: L. Reissig

AK Leichtmetall: L. Reissig

Härtere- und Werkstoffkreis, Ortenau-Schwarzwald-Oberrhein-Elsass:

L. Reissig, S. Meyerhoff

FA18 Werkstofforientierte Fertigung: L. Reissig

Arbeitsgemeinschaft wirtschaftsnaher Forschungseinrichtungen des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg

Arbeitskreis Innovationsrat »Mobilität und Umwelt«: P. Gumbsch

AVK Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V.

AK Charakterisierung und Simulation von Polymer-Verbundwerkstoffen
und Bauteilen: B. Thielicke

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM

Mitglied im Beirat Werkstoffe und technische Systeme: P. Gumbsch

Carbon Composites e.V.

B. Thielicke

Central European Chemical Network (CeChemNet)

R. B. Wehrspohn

Cluster Mitteldeutschland Chemie/Kunststoffe

R. B. Wehrspohn

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina

Mitglied der Sektion Technikwissenschaften: P. Gumbsch

Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG, Fachkollegium 405 Werkstofftechnik

gewähltes Mitglied: P. Gumbsch

Deutsche Gesellschaft für Biomaterialien

R. Jaeger, C. Koplin, R. Schäfer, B. Thielicke, A. Heilmann

Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Techniken und Biotechnologie DECHEMA

Fachausschuss Bauteilverhalten unter mechanischer Beanspruchung:

J. Hohe, M. Busch

Deutsche Gesellschaft für Elektronenmikroskopie DGE

AK Elektronenoptische Direktabbildung und Analyse von Oberflächen
(EDO): M. Fütting

Dreiländer-Arbeitskreis FIB: F. Altmann

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde DGM

FA Biomaterialien: C. Koplin, A. Heilmann, U. Spohn, A. Kiesow

FA Magnesium: N. Winzer

FA Mechanische Oberflächenbehandlung: W. Pfeiffer

FA Materialkundliche Aspekte der Tribologie und der Zerspanung: A. Kailer,
M. Scherge

FA Stangenpressen: L. Reissig

FA Texturen: T. Hochrainer

FA Computersimulation: D. Helm

AK Metal Matrix Composite: A. Neubrand

FA Polymerwerkstoffe: R. Weidisch

Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung

R. Jaeger

Deutsche Glastechnische Gesellschaft DGG

AA Glasforum: G. Kleer

FA I, Physik und Chemie des Glases und der Glasrohstoffe: P. Manns,
W. Döll

FA IV, Glasmaaschinenteknik und Formgebung: P. Manns

Deutsche Keramische Gesellschaft DKG

FA Werkstoffanwendung: A. Kailer, C. Koplin

FA Lebensdauer und Zuverlässigkeit struktur- und elektrokeramischer
Bauteile: M. Gall

AK Verstärkte Keramiken: B. Thielicke

Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG

FG Dünne Schichten: A. Heilmann

FG Oberflächen: F. Burmeister

AG Metall- und Materialphysik im AK Festkörperphysik: C. Elsässer

Deutscher Stahlbauverband, DSTV

AG Stahl und Glas: G. Kleer

Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung DVM

AK Bruchvorgänge: W. Böhme, M. Luke

AK Mikrosystemtechnik: M. Petzold, C. Dresbach

AK Verformungs- und Versagensverhalten bei komplexer thermisch-

mechanischer Beanspruchung: T. Seifert

AK Zuverlässigkeit mechatronischer und adaptiver Systeme: M. Gall

Deutscher Verband für Schweißtechnik DVS

AG Drahtbonds: M. Petzold, R. Klengel

AG Waferbonds: J. Bagdahn

FA9 Konstruktion und Berechnung: D. Siegele, M. Brand, M. Luke,
F. Schweizer

FA10 Mikroverbindungstechnik: M. Petzold

FA11 Metallurgie und Werkstofftechnik: S. Oeser, W. Pfeiffer

FA12 Anwendungsnahe Schweißsimulation: M. Brand,

M. Luke, W. Pfeiffer, F. Schweizer

DIN-Ausschüsse

DIN-Normenausschuss: R. Schäfer

DIN-Normenausschuss AA 42 Zug- und Duktilitätsliste für Metalle:

W. Böhme

DIN-Normenausschuss AA 44 Schlagzähigkeitsprüfung für Metalle:

W. Böhme

DIN-Normenausschuss CMC (NA 062-02-94 AA): B. Thielicke

ESAO European Society for Artificial Organs

A. Heilmann

European Society for Biomaterials

R. Jäger, C. Koplin, R. Schäfer, B. Thielicke

European Society of Biomechanics

R. Schäfer

European Structural Integrity Society ESIS

Technical Committee 4, Polymers and Composites: W. Böhme

Technical Committee 5, Dynamic Testing at intermediate Strain Rates:

W. Böhme

Technical Committee 8, Numerical Methods: T. Seifert

Technical Committee 24, Integrity of Railway Structures: I. Varfolomeev,

M. Luke

Forschung und Entwicklung Kunststofftechnik (FEKM)

R. B. Wehrspohn

Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. FKM

AK Bauteilfestigkeit: D. Siegele, M. Luke

Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. FAT

Industriepartner, Vertreter eines Forschungsinstituts: D.-Z. Sun

Industriepartner, Funktion: Forschungsstelle, die Vorhaben des Gremiums

bearbeitet und Ergebnisse auf den Sitzungen vorstellt: S. Sommer

Industriepartner, Vertreter eines Forschungsinstituts: D.-Z. Sun

Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. FVV

AK Gleitlager: M. Scherge

Fördergemeinschaft für Polymerentwicklung und Kunststofftechnik in Mitteldeutschland (Polykum e.V.)

Vorstand: M. Busch

Mitglied: R. B. Wehrspohn

Fraunhofer-Allianz Adaptronik

B. Thielicke

Fraunhofer-Allianz Bau

A. Heilmann, J. Lucas

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

R. Jaeger, M. Brand

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

M. Moseler, A. Heilmann

MITARBEIT IN GREMIEN, AUSSCHÜSSEN, BERATERTÄTIGKEITEN

Fraunhofer-Allianz Optic Surfaces
AK optisch funktionale Oberflächen: P. Manns

Fraunhofer-Gesellschaft, Wissenschaftlich Technischer Rat WTR
P. Gumbsch, S. Sommer, R. B. Wehrspohn

Fraunhofer-Allianz Adaptronik
B. Thielicke

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion
T. Hollstein

Fraunhofer-Allianz Bau
A. Heilmann

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung
R. Jaeger

Fraunhofer-Allianz Hochleistungskeramik
A. Kailer
Mitglied Lenkungsreis: P. Gumbsch

Fraunhofer-Allianz Leichtbau
T. Hollstein, M. Busch

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie
A. Heilmann, M. Moseler

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation NuSim
D. Helm
Vorsitzender Lenkungsreis: P. Gumbsch

Fraunhofer-Allianz Optic Surfaces
P. Manns, F. Burmeister

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
P. Gumbsch, R. B. Wehrspohn

Freiburger Materialforschungszentrum (FMF)
Kuratorium: P. Gumbsch
Mitglied: M. Moseler, C. Elsässer

Gemeinschaftsausschüsse
Materialermüdung (DGM, DVM): T. Seifert
Plasma-Oberflächentechnologie (DVS, VDI, DGM, DGO, AWT, DAV):
S. Meier
Pulvermetallurgie (DGM, VDEh, DKG, VDI-W, FPM): T. Kraft
Verstärkung keramischer Werkstoffe (DKG, DGM): B. Thielicke

Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.
AK Aluminium Strangpressen Automotive: L. Reissig

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
Projektkomitee Komponentenverhalten: P. Gumbsch

Gesellschaft für Experimentelle Spannungsanalyse GESA
AG Experimentelle Verfahren zur Bestimmung von Eigenspannungen:
W. Pfeiffer

Gesellschaft für Tribologie GFT
A. Kailer, M. Scherge

Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM)
FA Werkstoffe und Fertigungsverfahren in der Mikrosystemtechnik und
Nanotechnologie: R. Gerbach
FA Aufbau- und Verbindungstechnik: S. Klengel

Arbeitsgemeinschaft industr. Forschungsvereinigungen (AiF)
FA Angewandte Informatik zur Fügetechnik (GFal): M. Brand, F. Schweizer,
A. Krombholz
Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik GFal: A. Krombholz
Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V.
(WNR): A. Krombholz

Ifos GmbH, Kaiserlautern
Leiter des wiss. Beirats: M. Scherge

Informationstechnische Gesellschaft im VDE (ITG)
FG Fehlerlokalisierung in elektronischen Bauelementen: F. Altmann
FG Fehleranalysestrategien: F. Altmann

Innovationsrat Baden-Württemberg BW 2025
Mitglied der Arbeitsgruppe I »BW 2025: Wirtschaft, Gesellschaft und
industrieller Wandel«: P. Gumbsch

Instituto Madrileno de Estudios Avanzados, IMDEA Materiales
Board of Trustees and Scientific Board: P. Gumbsch

**Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulation ICAMS,
Ruhr Universität Bochum**
Mitglied des Scientific and Advisory Board: P. Gumbsch

Interdisziplinäres Zentrum für Materialwissenschaften in Halle
Beirat: R. B. Wehrspohn

International Institute of Welding
IIW Com. 1, Structural Integrity and Failure Avoidance: D. Siegele,
M. Brand

International Conference on the Strength of Materials ICSMA
Mitglied im internationalen wissenschaftlichen Ausschuss: P. Gumbsch

International Standard Organization ISO
TC 106/SC8/WG4 Mechanical Testing of Dental Implants: R. Schäfer

Kompetenznetzwerk Adaptronik
B. Thielicke

Kunststoff Kompetenzzentrum Merseburg
Beirat: R. B. Wehrspohn

Leibniz-Gemeinschaft
Stellvertretendes Mitglied im Senatausschuss Wettbewerb der Leibniz-
Gemeinschaft für die Institute der Sektion D: P. Gumbsch

Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg e.V. – MST BW
G. Kleer

**Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut an der Universität
Tübingen NMI**
Kurator: P. Gumbsch

**Österreichische Akademie der Wissenschaften ÖAW – Erich Schmid
Institut für Materialwissenschaft**
Scientific Advisory Board: P. Gumbsch

Science2public e.V. – Gesellschaft für Wissenschaftskommunikation
P. Gumbsch, Vorstand: R. B. Wehrspohn

Solarvalley Mitteldeutschland
R. B. Wehrspohn, J. Bagdahn

Solarvalley Sachsen-Anhalt e.V.
Vorsitzender J. Bagdahn

Stiftung SYN – Kunst-Design-Wissenschaft
Kuratoriumsvorsitzender: R. B. Wehrspohn

Verein Deutscher Eisenhüttenleute VDEh e.V.
AG Prüftechnik: W. Böhme
AK Hochgeschwindigkeitsversuche: W. Böhme

VGB Power Tech e.V.
FA Werkstoffe und Qualitätssicherung: P. von Hartrott

wvib - Wirtschaftsverband Industrieller Unternehmen Baden
T. Hollstein, R. Jaeger, T. Götz

Zentrum für Innovationskompetenz SiLi-nano Halle
Sprecher: R. B. Wehrspohn

Zukunftsstiftung des Landes Sachsen-Anhalt
R. B. Wehrspohn

Zeitschriften, Editorial Boards
– Acta Materialica Sinica: P. Gumbsch
– Applied Physics A: R. B. Wehrspohn
– International Journal of Fracture: P. Gumbsch
– International Journal of Materials Research (vormals Zeitschrift für
Metallkunde): P. Gumbsch
– Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering MSME:
P. Gumbsch
– Photonics and Nanostructures: R. B. Wehrspohn

- Agarwal, S.; Eckhardt, B.; Grossmann, F.; Greiner, A.; Göring, P.; Wehrspohn, R. B.; Wendorff, J.
Gradient nanowires and nanotubes
Physics Status Solidi B, Physics (2010) 1-7; M 187/2010
- Amann, T.; Kailer, A.
Ultralow friction of mesogenic fluid mixtures in tribological reciprocating systems
Tribology Letters 37/2 (2010) 343-352; M 29/2010
- Andrieux, F.; Sun, D.-Z.
Damage modeling for simulation of process chain from forming to crash
International Journal of Materials Research 101/8 (2010) 963-971; M 14/2010
- Antusch, S.; Dienwiebel, M.; Nold, E.; Albers, P.; Spicher, U.; Scherge, M.
On the Tribochemical Action of Engine Soot
Wear 269/1-2 (2010) 1-12; M 95/2010
- Bachurin, D. V.; Gumbsch, P.
Accommodation processes during deformation of nanocrystalline palladium
Acta Materialia 58/16 (2010) 5491-5501; M 137/2010
- Bachurin, D. V.; Weygand, D.; Gumbsch, P.
Dislocation-grain boundary interaction in h111i textured thin metal films
Acta Materialia 58/16 (2010) 5232-5241; M 136/2010
- Berlet, P.; Dienwiebel, M.; Scherge, M.
The effect of sample finishing on the tribology of metal/metal lubricated contacts
Wear 268/11-12 (2010) 1518-1523; M 96/2010
- Boettge, B.; Braeuer, J.; Wiemer, M.; Petzold, M.; Bagdahn, J.; Gessner, T.
Fabrication and characterization of reactive nanoscale multilayer systems for low-temperature bonding in microsystem technology
Journal of Micromechanics and Microengineering 20/6 (2010) 8; M 129/2010
- Bohley, C.; Yau, M. Y. E.; Erk, C.; Wang, Y.; Wehrspohn, R. B.; Schlecht, S.; Steinhart, M.
Templated self-assembly of block copolymers – toward the rational design of plasmonic nanorods
Physica Status Solidi B, Physics (2010) 1-6; M 188/2010
- Brand, S.; Czurratis, P.; Hoffrogge, P.; Petzold, M.
Automated inspection and classification of flip-chip-contacts using scanning acoustic microscopy
Microelectronics Reliability 50/9-11 (2010) 1469-1473; M 220/2010
- Cheng, Y.; Bitzek, E.; Weygand, D.; Gumbsch, P.
Atomistic simulation of dislocation – void interactions under cyclic loading
Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering 18/2 (2010) 1-11; M 54/2010
- Cheng, Y.; Weygand, D.; Gumbsch, P.
Simulation of small-angle tilt grain boundaries and their response to stress
Computational Materials Science 45/3 (2009) 783-787; M 176/2009
- Deslandes, H.; Lundquista, T.; Schmidt, C.; Altmann, F.; Yu, K.; Andreev, A.; Li, S.
Dynamic lock-in thermography for operation mode-dependent thermally active fault localization
Microelectronics Reliability 07/82 (2010) 1454-1458; M 219/2010
- Dienwiebel, M.; Scherge, M.; Gumbsch, P.
Message from the scientific organizers, special issue on the 428th Wilhelm and Else Heraeus Seminar »Physics of Tribology – understanding friction and wear in technical systems«
Tribology, Letters 39/1 (2010) 1; M 42/2009
- Dohle, R.; Petzold, M.; Klengel, R.; Schulze, H.; Rudolf, F.
Room temperature wedge-wedge ultrasonic bonding using aluminum coated copper wire
Microelectronics Reliability 51/1 (2011) 97-106; M 222/2010
- Duffe S.; Grönhagen, N.; Patryarcha, L.; Sieben, B.; Yin, C.; von Issendorff, B.; Moseler, M.; Hövel, H.
Penetration of thin C60 films by metal nanoparticles
Nature Nanotechnology 5 (2010) 335-339; M 31/2009
- Dyrba, M.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.
Surface plasmons for fluorescence enhancement in Sm-doped borate glasses
Radiation Measurements 45 (2010) 314-316; M 90/2010
- Erk, C.; Wehrspohn, R. B.; Steinhart, M.; Schlecht, S.
Template-controlled thermolysis of single-source-precursors
Physica Status Solidi B, Physics 247/10 (2010) 2393-2400; M 186/2010
- Erüna, E.; Eichel, R.-A.; Körbel, S.; Elsässer, C.; Acker, J.; Kungl, H.; Hoffmann, H. J.
Defect structure of copper doped potassium niobate ceramics
Functional Materials Letters 3/1 (2010) 19-24; M 36/2010
- Frensemeier, M.; Koplin, C.; Jaeger, R.; Kramer, F.; Klemm, D.
Mechanical properties of bacterially synthesized nanocellulose hydrogels
Macromolecular Symposia 294/2 (2010) 38-44; M 217/2010
- Ganapati, V.; Schoenfelder, S.; Castellanos, S.; Oener, S.; Koepge, R.; Sampson, A.; Marcus, M. A.; Lai, B.; Morhenn, H.; Hahn, G.; Bagdahn, J.; Buonassisi, T.
Infrared birefringence imaging of residual stress and bulk defects in multicrystalline silicon
Journal of Applied Physics 108 (2010) 063528; M 190/2010
- Gerbach, R.; Ebert, M.; Brokmann, G.; Hein, T.; Bagdahn, J.
Identification of mechanical defects in MEMS using dynamic measurements for application in production monitoring
Microsystem Technologies 16/7 (2010) 1251-1257; M 167/2010
- Gesemann, B.; Schweizer, S. L.; Wehrspohn, R. B.
Thermal emission properties of 2D and 3D silicon photonic crystals
Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications 8/2 (2010) 107-111; M 94/2009
- Grimm, S.; Martin, J.; Rodriguez, G.; Fernández-Gutierrez, M.; Mathwig, K.; Wehrspohn R. B.; Gösele, U.; Roman, J. S.; Mijangos, C.; Steinhart, M.
Cellular interactions of biodegradable nanorod arrays prepared by nondestructive extraction from nanoporous alumina
Journal of Materials Chemistry 20/16 (2010) 3117-3320; M 102/2010
- Gumbsch, P.
Prof. Dr. Hermann Riedel on the occasion of his 65th birthday, January 3, 2010
International Journal of Material Research 101/1 (2010) 143-144; M 25/2010
- Gurr, M.; Thomann, Y.; Nedelcu, M.; Kübler, R.; Könczöl, L.; Mülhaupt, R.
Novel acrylic nanocomposites containing in-situ formed calcium phosphate/layered silicate hybrid nanoparticles for photochemical rapid prototyping, rapid tooling and rapid manufacturing processes
Polymer 51/22 (2010) 5058-5070; M169/2010
- Hardenacke, V.; Hohe, J.
Assessment of space division strategies for generation of adequate computational models for solid foams
International Journal of Mechanical Sciences 52 (2010) 1772-1782; M 203/2010
- Hashibon, A.; Elsässer, C.
Approaches to atomistic triple-line properties from first-principles
Scripta Materialia 62 (2010) 939-944; M 56/2010
- Hashibon, A.; Schravendijk, P.; Elsässer, C.; Gumbsch, P.
Atomistic study of structure and stability of thin Ni films on Fe surfaces
Philosophical Magazine 89/34-36 (2009) 3413-3433; M 27/2010
- Held, J.; Caspar, J.; Ruther, P.; Hagner, M.; Cismak, A.; Heilmann, A.; Paul, O.
Design of experiment characterization of microneedle fabrication processes based on dry silicon etching
Journal of Micromechanics and Microengineering 20/2 (2010) 1-11; M 48/2010

- Helm, D.
Thermomechanical representation of the stored energy during plastic deformation
International Journal of Materials Research 101/8 (2010) 972-980; M 150/2010
- Henke, B.; Pientka, F.; Johnson, J. A.; Ahrens, B.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.
Saturation effects in the upconversion efficiency of Er-doped fluorozirconate glasses
Journal of Physics: Condensed Matter 22/15 (2010) 1-6; M 38/2010
- Hildenbrand, J.; Kürzinger, A.; Peter, C.; Moretton, E.; Wöllenstein, J.; Naumann, F.; Ebert, M.; Korvink, J.
Micromachined mid-infrared emitter for fast transient temperature operation for optical gas sensing systems
IEEE Sensors Journal 10 (2010) 353-362; M 206/2010
- Hildenbrand, J.; Peter, C.; Lamprecht, F.; Kürzinger, A.; Naumann, F.; Ebert, M.; Wehrspohn, R. B.; Korvink, J. G.
Fast transient temperature operating micromachined emitter for mid-infrared optical gas sensing systems: design, fabrication
Microsystem Technologies 16/5 (2010) 745-754; M 51/2010
- Hirel, P.; Marton, P.; Mrovec, M.; Elsässer, C.
Theoretical investigation of {1 1 0} generalized stacking faults and their relation to dislocation behavior in perovskite oxides
Acta Materialia 58 (2010) 6072-6079; M 197/2010
- Hohe, J.; Brand, M.; Siegele, D.
Fracture analysis of clad components considering residual stresses
PAMM, Special Issue: 79th GAMM Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics 8/1 (2008) 10209-10210; M 103/2010
- Hohe, J.; Brand, M.; Siegele, D.
Behaviour of sub-clad and through-clad cracks under consideration of the residual stress field
Engineering Fracture Mechanics 77/2 (2010) 217-228; M 104/2010
- Hohe, J.; Gumbsch, P.
On the potential of tungsten-vanadium composites for high temperature application with wide-range thermal operation window
Journal of Nuclear Materials 400 (2010) 218-231; M 106/2010
- Huber, B.; Moseler, M.; Kostko, O.; von Issendorff, B.
Structural evolution of the sodium cluster anions Na-20(-)-Na-57(-)
Physical Review B 80/23 (2009) 235425 1-6; M 55/2010
- Janisch, R.; Elsässer, C.
Interstitial impurities at grain boundaries in metals: insight from atomistic calculations
International Journal of Materials Research 100 (2009) 1488-1493; M 33/2010
- Khader I.; Kailer, A.
Damage mechanisms in silicon nitride wires rolling tools: lab-scale experiments and correlation with finite element modeling
Journal of Materials Processing Technology 210/10 (2010) 1314-1325; M 23/2010
- Koller, S.; Mayrhofer, L.; Grifoni, M.
Graphene armchair nanoribbon single-electron transistors: the peculiar influence of end states
Europhysics Letters 85/5 (2009) 57001; M 163/2009
- Koller, S.; Mayrhofer, L.; Grifoni, M.
Spin-dependent transport through interacting graphene armchair nanoribbons
New Journal of Physics 12/3 (2010) 033038 1-35; M 8/2010
- Körbel, S.; Matron, P.; Elsässer, C.
Formation of vacancies and copper substitutionals in potassium sodium niobate under various processing conditions
Physical Review B 81 (2010) 1-11; M 35/2010
- Körner, W.; Elsässer, C.
First-principles density functional study of dopant elements at grain boundaries in ZnO
Physical Review B 81/8 (2010) 12-12; M 30/2010
- Korres, S.; Dienwiebel, M.
Design and construction of a novel tribometer with online topography and wear measurement
Review of Scientific Instruments 81/6 (2010) 1-7; M 20/2010
- Kuzmychov, O.; Koplin, C.; Jaeger, R.; Büchner, H.; Gopp, U.
Physical aging and the creep behavior of acrylic bone cements
Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials 91/2 (2009) 910-917; M 151/2009
- Loeschner, K.; Seifert, G.; Heilmann, A.
Self-organized, gratinglike nanostructures in polymer films with embedded metal nanoparticles induced by femtosecond laser irradiation
Journal of Applied Physics 108 (2010) 073114-1-10; M 174/2010
- Luke, M.; Varfolomeev, I.; Lütkepohl, K.; Esderts, A.
Fracture mechanics assessment of railway axles: Experimental characterization and computation
Engineering Failure Analysis 17/3 (2010) 617-623; M 49/2010
- Maier, G.; Svoboda, J.
Modeling of formation of precipitate-free zone
International Journal of Materials Research 101/8 (2010) 997-1002; M 148/2010
- Markmann, J.; Bachurin, D.; Shao, L.; Gumbsch, P.; Weissmüller, J.
Microstrain in nanocrystalline solids under load by virtual diffraction
EPL Europhysics Letters 89/6 (2010) 1-5; M 57/2010
- Moras, G.; Colombi Ciacchi, L.; Elsässer, C.; Gumbsch, P.; De Vita, A.
Atomically smooth stress-corrosion cleavage of a hydrogen-implanted crystal
Physical Review Letters 105/7 (2010) 1-4; M 117/2010
- Mrovec, M.; Elsässer, C.; Gumbsch, P.
Interactions between lattice dislocations and twin boundaries in tungsten: A comparative atomistic simulation study
Philosophical Magazine 89/34-36 (2009) 3179-3194; M 177/2009
- Noetzold, K.; Dresbach, C.; Graf, J.; Boettge, B.
Temperature dependent fracture toughness of glass frit bonding layers
Journal of Microsystem Technologies 16 (2010) 1243-1249; M 208/2010
- Nolte, P. W.; Pergande, D.; Schweizer, S. L.; Geuss, M.; Salzer, R.; Makowski, B. T.; Steinhart, M.; Mack, P.; Hermann, D.; Busch, K.; Weder, C.; Wehrspohn, R. B.
Photonic crystal devices with multiple dyes by consecutive local infiltration of single pores
Advanced Materials 22 (2010) 4731-4735; M 223/2010
- Pastewka, L.; Moser, S.; Moseler, M.
Atomistic insights into the running-in, lubrication, and failure of hydrogenated diamond-like carbon coatings
Tribology Letters 39/1 (2010) 49-61; M 263/2009
- Pastewka, L.; Peguiron, J.; Gumbsch, P.; Moseler, M.
Molecular dynamics simulation of gold solid film lubrication
International Journal of Materials Research 101/8 (2010) 981-988; M 140/2010
- Pavlica, S.; Piscioneri, A.; Peinemann, F.; Keller, M.; Milosevic, J.; Staeudte, A.; Heilmann, A.; Schulz-Siegmund, M.; Laera, S.; Favia, P.; De Bartolo, L.; Bader, A.
Rat embryonic liver cell expansion and differentiation on NH₃ plasma-grafted PEEK-WC-PU membranes
Biomaterials 30 (2009) 6514-6521; M 178/2009
- Prakash, A.; Riedel, H.
Modeling the evolution of texture and grain shape in Mg alloy AZ31 using the crystal plasticity finite element method
Computational Materials Science 45/3 (2009) 744-750; M 70/2010
- Preußner, J.; Fleischmann, E.; Völkl, R.; Glatzel, U.
Enrichment of boron at grain boundaries of platinum-based alloys determined by electron energy loss spectroscopy in a transmission electron microscope
International Journal of Materials Research 101/5 (2010) 577-579; M 81/2010

- Sandfeld, S.; Hochrainer, T.; Gumbsch, P.; Zaiser, M.
Numerical implementation of a 3D continuum theory of dislocation dynamics and application to micro-bending
 Philosophical Magazine 90 (2010) 3697-3728; M 195/2010
- Scherm, F.; Vökl, R.; Neubrand, A.; Bosbach, F.; Glazel, U.
Mechanical characterisation of interpenetrating network metal-ceramic composites
 Materials Science and Engineering A 527/4-5 (2010) 1260-1265; M 174/2009
- Schmidt, I.; Kraft, T.
Simulation of the co-sintering of composite structures
 International Journal of Materials Research 101/8 (2010) 933-941; M 173/2010
- Schmidt, I.; Trondl, A.; Kraft, T.; Wonisch, A.
Simulation of the material behaviour of metal powder during compaction
 Process Mechanical Engineering 224/3 (2010) 187-194; M 176/2010
- Schriever, C.; Bohley, C.; Wehrspohn, R. B.
Strain dependence of second-harmonic generation in silicon
 Optics Letters 35/3 (2010) 273-275; M 47/2010
- Schweizer, S.; Henke, B.; Miclea, P.-T.; Ahrens, B.; Johnson, J. A.
Multi-functionality of fluorescent nanocrystals in glass ceramics
 Radiation Measurements 45 (2010) 485-489; M 91/2010
- Schweizer, S. L.; v. Rhein, A.; Geppert, T. M.; Wehrspohn, R. B.
Reduced pore diameter fluctuations of macroporous silicon fabricated from neutron-transmutation-doped material
 Physica Status Solidi, Rapid Research Letters 7 (2010) 148-150; M 172/2010
- Seifert, T.; Maier, G.; Riedel, H.
Mechanism-based thermomechanical fatigue life prediction of cast iron. Part II: Comparison of model predictions with experiments
 International Journal of Fatigue 32/8 (2010) 1368-1377; M 62/2010
- Seifert, T.; Riedel, H.
Mechanism-based thermomechanical fatigue life prediction of cast iron. Part I: Models
 International Journal of Fatigue 32/8 (2010) 1358-1367; M 61/2010
- Seifert, T.; Schweizer, C.; Schlesinger, M.; Möser, M.; Eibl, M.
Thermomechanical fatigue of 1.4849 cast steel – experiments and life prediction using a fracture mechanics approach
 International Journal of Materials Research 101/8 (2010) 942-950; M 141/2010
- Senger, J.; Weygand, D.; Motz, C.; Gumbsch, P.; Kraft O.
Evolution of mechanical response and dislocation microstructures in small-scale specimens under slightly different loading conditions
 Philosophical Magazine 90/5 (2010) 617-628; M 53/2010
- Sivakov, V. A.; Bronstrup, G; Pecz, B; Berger, A; Radnoczi, G.; Krause, M; Christiansen, S.
Realization of vertical and zigzag single crystalline silicon nanowire architectures
 Journal of Physical Chemistry 114/9 (2010) 3798-3803; M 207/2010
- Sun, D.-Z.; Memhard, D.
Defect tolerance assessment of ARIANE 5 structures on the basis of damage mechanics material modelling
 Engineering Fracture Mechanics 76/1 (2009) 59-73; M 71/2010
- Szyska, B; Loebmann, P.; Georg, A.; May, C.; Elsässer C.
Development of new transparent conductors and device applications utilizing a multidisciplinary approach
 Thin Solid Films 518 (2010) 3109-3114; M 112/2010
- Umeno, Y.; Albina, J. M.; Meyer, B.; Elsässer, C.
Ab initio calculations of ferroelectric instability in PbTiO₃ capacitors with symmetric and asymmetric electrode layers
 Physical Review B 80/20 (2009) 1-8; M 32/2010
- Varfolomeev, I.; Luke, M.; Moroz, S.
Experimental and numerical investigations of fatigue crack growth in various specimen geometries
 Procedia Engineering 2 (2010) 1829-1837; M 109/2010
- von Alfthan, S.; Benedek, N. A.; Chen, L.; Chua, A.; Cockayne, D.; Dudeck, K. J.; Elsässer, C.; Finnis, M. W.; Koch, C. T.; Rahmati, B.; Rühle, M.; Shih, S.-J.; Sutton, A. P.
The structure of grain boundaries in strontium titanate: theory, simulation and electron microscopy
 Annual Reviews of Materials Research 40 (2010) 557-599; M 111/2010
- von Hartrott, P.; Holmström, S.; Caminada, S.; Pillot, S.
Life-time prediction for advanced low alloy steel P23
 Materials Science and Engineering 18-19 (2010) 4543-5064; M 72/2010
- van Herwijnen, A.; Schweizer, J.; Heierli, J.
Measurement of the deformation field associated with fracture propagation in weak snowpack layers
 Journal of Geophysical Research 115/F03042 (2010) 1-10; M 168/2010
- Walter, M.; Moseler, M.
How to observe the oxidation of magnesia supported Pd clusters by scanning tunneling microscopy
 Physica status solidi (b) – basic solid state physics 247/5 (2010) 1016-1022; M 140/2009
- Weickmann, H.; Gurr, M.; Meincke, O.; Thoman, R.; Mülhaupt, R.
A versatile solvent-free one-pot route to polymer nanocomposites and the in situ formation of calcium phosphate/layered silicate hybrid nanoparticle
 Advanced Functional Materials/Materials Views 20/11 (2010) 1778-1786; M 83/2010
- Ziegler, T.; Neubrand, A.; Piat, R.
Multiscale homogenization models for the elastic behaviour of metal/ceramic composites with lamellar domains
 Composites Science and Technology 70/4 (2010) 664-670; M 17/2010
- Zimmermann, J.; Colombi Ciacchi, L.
Mechanisms of initial oxidation of the Co(0001) and Cr(110) surfaces
 Journal of Physical Chemistry C 114/14 (2010) 6014-6023, M 66/2010
- Zimmermann, J.; Colombi Ciacchi, L.
Origin of the selective Cr oxidation in CoCr alloy surfaces
 Journal of Physical Chemistry Letters 1/15 (2010) 2343-2348; M 114/2010
- Zimmermann, J.; Finnis, M. W.; Colombi Ciacchi, L.
Vacancy segregation in the initial oxidation stages of the TiN(100) surface
 Journal of Chemical Physics 130/13 (2009) 1-11; M 65/2010

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Zeitschriften

Burmeister, F.; Hagen, J.; Denter, J.; Wirth, M.; Fromm, A.; Kleer, G.
Hybrid inorganic-organic functional coatings for injection molding applications
Plasma Processes and Polymers 6 (2009) 1-5; M 46/2010

Butz, A.; Helm, D.
Virtuelle Werkstoffcharakterisierung für die Umformsimulation
wt Werkstattstechnik online 100/10 (2010) 817-818; M 182/2010

Gemetz, F.; Meier, S.
Kunststoffbeschichtung mit DLC
Konstruktion 6 (2009) IW 9-10; M 21/2010

Hagen, J.; Burmeister, F.; Fromm, A.; Manns, P.; Kleer, G.
Iridium coatings with titanium sub-layer deposited by RF magnetron sputtering: Mechanical properties and contact behavior with RoHS-compliant glass melt
Plasma Processes and Polymers 6 (2009) 678-683; M 41/2010

Heierli, J.; Zaiser, M.; Gumbsch, P.
Der Knall im Lawinengang
Physik Unserer Zeit 41 (2010) 31-35; M 24/2010

Hiratsuka, K.; Dienwiebel, M.; Martin, J.-M.
Friction and wear behavior of Fe-DLC coatings
Reports of C.I.T. 57 (2010) 1-8; M 94/2010

Jaeger, R.
Simulation beachtet Gewebezüchtung
medizin & technik 6 (2009) 94-95; M 173/2009

Kailer, A.
Neue keramische Werkstoffe für die Walztechnik
Werkstoffe 1 (2010) 6; M 22/2010

Kailer, A.
Besser und günstiger Walzen mit Werkzeugen und Komponenten aus Hochleistungskeramik
Konstruktion 7/8 (2010) IW 8-9; M 97/2010

Kleine, A.; Koch, H.; Böhme, W.
Untersuchungen zur Charakterisierung von crashrelevantem Bauteilverhalten
Giesserei 5 (2010) 34-42; M 155/2010

Koplin, C.; Gurr, M.; Kübler, R.; Mühlhaupt, R.; Jaeger, R.
Formgenauigkeit in der Stereolitographie
Konstruktion 11/12 (2009) IW 11-12; M 170/2009

Luke, M.; Reif, M.
Tragende Struktur leichter gebaut
Konstruktionspraxis 7 (2009) 46-47; M 68/2010

Moutanabbir, O.; Reiche, M.; Hähnel, A.; Erfurth, W.; Motohashi, M.; Tarun, A.; Hayazawa, N.; Kawata, S.; Naumann, F.; Petzold, M.
Strain stability in nanoscale patterned strained silicon-on-insulator
The Electrochemical Society 33/6 (2010) 511-522; M 183/2010

Bücher, Buchbeiträge

Bachurin, D. V.; Gumbsch, P.
Molecular dynamics study of plastic deformation of nanocrystalline palladium
in High Performance Computing in Science and Engineering'09
Nagel, W. E.; Kroner, D. B.; Resch, M. M. (Eds.)
Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2010) 111-122; M 26/2010

Eidel, B.; Hartmaier, A.; Gumbsch, P.
Atomistic simulation methods and their application on fracture
in Multiscale Modelling of Plasticity and Fracture by Means of Dislocation Mechanics (CISM Courses and Lectures, vol. 522)
Pippan, R.; Gumbsch, P. (Eds.)
Springer New York, Wien, Österreich (2010) 1-58; M 139/2010

Gumbsch, P.; van der Giessen, E. (Eds.)
Proceedings of the fifth international conference multiscale materials modeling MMM2010
Fraunhofer Verlag Stuttgart (2010); M 196/2010

Krause, G.; Kraft, T.; Wonisch, A.; Meier, S.; Gemetz, F.; Weber, R.; Schwanke, D.; Lang, A.; Pohlner, J.; Pönisch, C.; Geng, J.
Entwicklung nanotechnologischer Siebbeschichtungen und daran angepasster Pastensysteme für den FineLine-Druck von keramischen Schaltungsträgern
Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin (2010) 47-63 und 73-80; M 205/2010

Moras, G.; Choudhury, R.; Kermode, J. R.; Csányi, G.; Payne, M. C.; De Vita, A.
Hybrid quantum/classical modeling of material systems: the »learn on the fly« molecular dynamics scheme
in Trends in Computational Nanomechanics: Transcending Length and Time Scales, Dumictrica, T. (Ed.), Springer Netherlands Dordrecht (2010) 1-23; M 42/2010

Peters, M.; Bielawny, A.; Bläsi, B.; Carius, R.; Glunz, S. W.; Goldschmidt, J. C.; Hauser, H.; Hermle, M.; Kirchartz, T.; Löper, P.; Üpping, J.; Wehrspohn, R. B.; Willeke, G.
Physics of nanostructured solar cells
Badesca, V.; Paulescu, M. (Eds.), Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, NY, USA (2010) 1-41; M 185/2010

Pippan, R.; Gumbsch, P. (Eds.)
Multiscale modelling of plasticity and fracture by means of dislocation mechanics
(CISM Courses and Lectures, vol. 522), Springer New York, Wien, Österreich (2010); M 138/2010

Standfuß, J.; Brenner, B.; Bretschneider, J.; Winderlich, B.; Schrauber, S.; Göbel, G.; Kretzschmar, F.; Mootz, A.; Schlichenmaier, T.; Elsner, C.; Warg, V.; Ültzhöfer, M.; Luke, M.; Junk, A.; Knospe, A.; Kirchner, U.
Ganzheitliche innovative fúgetechnische Konzepte am Beispiel des PKW-Antriebsstranges – Laserpowertrain
in Ganzheitliche innovative fúgetechnische Konzepte am Beispiel des PKW-Antriebsstranges – Laserpowertrain
Standfuß, J. (Hrsg.), Fraunhofer Verlag Stuttgart (2010) 93; M 124/2010

Altmann, F.; Petzold, M.; Schmidt, C.; Salzer, R.; Cassidy, C.; Tesch, P.
Characterization and failure analysis of 3D integrated semiconductor devices – novel tools for fault isolation, target preparation and high resolution material analysis
 in Proc. of 36th International Symposium for Testing and Failure Analysis, ISTFA, ASM International, Ohio, USA (2010) CD-ROM; M 145/2010

Altmann, F.; Schischka, J.; Ngo, V. V.; Stone, S.; Kwakman, L. Tz.; Lehmann, R.
Combined electron beam induced current imaging (EBIC) and focused ion beam (FIB) techniques for thin film solar cell characterization
 in Proc. of 36th International Symposium for Testing and Failure Analysis, ISTFA, ASM International, Ohio, USA (2010) CD-ROM; M 144/2010

Amann, T.; Kailer, A.
Ultralow friction and reciprocating systems lubricated by mesogenic fluids
 in Proc. of 17th International Colloquium Tribology – Solving Friction and Wear Problems; Bartz, W. J. (Ed.), Technische Akademie Esslingen TAE, Ostfildern (2010) 101; M 133/2009

Baiker, M.; Helm, D.
Modellierung und Simulation des Tiefziehverhaltens einphasiger Stähle am Beispiel von DC04
 in Tagungsband »Prozessketten in der Fertigung: Wechselwirkung, Modellbildung und Bewertung von Prozesszonen«; Papst, R.; Nestler, B.; Schulze, V.; Baiker, M.; Helm, D. (Hrsg.), Shaker Verlag, Aachen (2010) 21-25; M 78/2010

Baumgartner, K.; Ahrens, B.; Angelov, O.; Sendova-Vassileva, M.; Dimova-Malinovska, D.; Holländer, B.; Schweizer, S.; Carius, R.
Photon down-conversion in terbium (III)-doped thin film dielectric films and fluorozirconate glasses for thin film solar cells
 in Proc. of SPIE, Vol. 7725; Wehrspohn, R. B.; Gombert, A. (Eds.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 77250T-1; M 89/2010

Baumgartner, K.; Angelov, O.; Sendova-Vassileva, M.; Holländer, B.; Ahrens, B.; Schweizer, S.; Dimova-Malinovska, D.; Carius, R.
Optical properties of magnetron sputtered thin dielectric films containing terbium(III) for spectral conversion in thin film solar cells
 in Proc. of 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; WIP-Renewable Energies, München (2009) 354-358; M 3/2010

Bennemann, S.; Dresbach, C.; Lorenz, G.; Berthold, L.; Petzold, M.
Microstructure and mechanical properties of laser ablation cleaned NiP platings for aluminum wire bonding
 in Proc. of Electronics System Integration Technology Conference ESTC 2010, Fraunhofer IZM, Berlin (2010); M 118/2010

Bennemann, S.; Simon, M.; Petzold, M.; Altmann, F.
Fehlermechanismen an Leiterplattenmetallisierungen für bleifrei gelötete Packageaufbauten
 in Elektronische Baugruppen und Leiterplatten 2010, DVS Berichte, Band 295, DVS Media GmbH, Düsseldorf (2010) 246-250; M 1/2010

Bienger, P.; Helm, D.
Mikrostrukturentwicklung in Walzprozessen am Beispiel von DC04
 in Tagungsband »Prozessketten in der Fertigung: Wechselwirkung, Modellbildung und Bewertung von Prozesszonen«; Papst, R.; Nestler, B.; Schulze, V.; Bienger, P.; Helm, D. (Hrsg.), Shaker Verlag, Aachen (2010) 5-9; M 79/2010

Birkeland, K. W.; Simenhois, R.; Heierli, J.
The effect of changing slope angle on extended column test results: can we dig pits in safer locations?
 in Proc. of International Snow Science Workshop; Johnson, R. (Ed.), International Conference Services Ltd., Vancouver, Canada (2010) 55-60; M 214/2010

Boettge, B.; Petzold, M.; Wiemer, M.; Bagdahn, J.
Status of low temperature wafer bonding using reactive multilayer films
 in Proc. of 2nd International IEEE Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration; The University of Tokyo, Hongo, Japan (2010); M 82/2010

Brand, S.
Signal analysis for the estimation of mechanical parameters of viable cells using GHz-acoustic microscopy
 in Proc. of IEEE International Ultrasonics Symposium; Micro Digital Publishing, St. Louis, USA (2009) 2248-2251; M 132/2009

Brand, S.; Petzold, M.
Extending acoustic microscopy for comprehensive failure analysis applications
 in Proc. of 36th International Symposium for Testing and Failure Analysis, ISTFA, ASM International, Ohio, USA (2010) CD-ROM; M 224/2010

Butz, A.
Numerische Modellierung von Dualphasenstählen bei der Herstellung, Verarbeitung und im Bauteil
 in Tagungsband T31 des 30. EFB-Kolloquiums Blechverarbeitung, EFB, Hannover (2010) 399-409; M 6/2010

Butz, A.
On the modeling of dual phase steels: microstructure-based simulation from the hot rolled sheet to the deep drawn component
 in Proc. of 13th ESAFORM Conference on Material Forming; Ceretti, E.; Giardini, C. (Eds.), Springer, Paris, Frankreich (2010) 73-76; M 18/2010

Butz, A.
Zum Stand der virtuellen Werkstoffentwicklung: Vom Halbzeug zum Crash
 LS-DYNA Forum 2010; DYNAMore, Stuttgart (2010) C-II-5 - C-II-16; M 198/2010

Descas, R.; Helm, D.
Mikromechanisch basierte Modellierung der Umformgrenzen von Blechwerkstoffen
 in Klausurtagung Grako 1483; Pabst, R.; Nestler, B.; Schulze, V. (Hrsg.), Shaker Verlag, Aachen (2010)131-136; M 63/2010

Dresbach, C.; Mittag, M.; Petzold, M.
Elastic properties of bonding wires
 in Proc. of Electronics System Integration Technology Conference ESTC 2010, Fraunhofer IZM, Berlin (2010) CD-ROM; M 130/2010

Dyrba, M.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.
Spectral down-conversion in Sm-doped borate glasses for photovoltaic applications
 in Proc. of SPIE, Vol. 7725; Wehrspohn, R. B.; Gombert, A. (Eds.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 77251D-1; M 87/2010

Eisler, H.; Reif, M.; Henning, F.
Investigations on the mechanical behaviour of hybrid polymer metal joints
 in Proc. of 14th European Conference on Composite Materials, Asp, L. (Ed.), European Society for Composite Materials, Moelndal, Schweden (2010) CD-ROM; M 92/2010

Gall, M.; Thielicke, B.
Performance characterization and failure analysis for laminar PZT components
 in Proc. of Actuator 2010, 12th Int. Conf. and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, WFB Wirtschaftsförderung Bremen GmbH, Bremen (2010) 605-608; M 45/2010

Heierli, J.; Birkeland, K. W.; Simenhois, R.; Gumbsch, P.
New insights into skier-triggering of slab avalanches
 in Proc. of International Snow Science Workshop; Johnson, R. (Ed.), Lake Tahoe, CA, USA (2010) 207-213, CD-ROM; M 216/2010

Heinonen, J.; Schmidt, I.
An analysis of the stress state in a green part during ejection from the die
 in Proc. of EuroPM 2009; EPMA, Shrewsbury, UK (2009) 53-58; M 150/200

Henke, B.; Keil, P.; Paßlick, C.; Vogel, D.; Rohwerder, M.; Wiegand, M.-C.; Johnson, J. A.; Schweizer, S.
XANES studies on Eu-doped fluorozirconate based glass ceramics
 in Proc. of Materials Research Society 1262, Warrendale, PA, USA (2010), 1262-W08-03; M 86/2010

Hochrainer, T.; Zaiser, M.; Gumbsch, P.
Dislocation transport and line length increase in averaged descriptions of dislocations
 in Numerical Analysis and Applied Mathematics Vol 2 (AIP Conference Proceedings 1168), Simos, T. E.; Pshoyios, G.; Tsitouras, C. (Eds.), American Institute of Physics, Melville, New York, N.Y., USA (2009) 1133-1136; M 175/2009

- Hohe, J.
Load frequency interaction effects in the dynamic buckling of foam core sandwich structures
 in Proc. of 9th International Conference on Sandwich Structures; Ravichandran, G. (Ed.), California Institute of Technology, Pasadena, USA (2010) CD-ROM; M 212/2010
- Hohe, J.; Hardenacke, V.; Beckmann, C.
Numerical homogenization analysis of disorder effects in the effective thermo-mechanical response of structural foams and porous solids
 in Proc. of 4th European Conference on Computational Mechanics; Allix, O.; Wriggers, P. (Eds.), University of Rome, Rom, Italien (2010) CD-ROM; M 59/2010
- Hohe, J.; Hardenacke, V.; Fascio, V.; Girard, Y.; Lehmus, D.; Stöbener, K.; Pattofatto, S.; Zeng, H.; Zhao, H.; Calbucci, V.; Fiori, F.; Rustichelli, F.
Design of graded cellular sandwich cores for multi functional aerospace application
 in Proc. of 9th International Conference on Sandwich Structures; Ravichandran, G. (Ed.), California Institute of Technology, Pasadena, USA (2010) CD-ROM; M 211/2010
- Jaeger, R.; Koplin, C.; Gurr, M.; Meiners, W.
Internal Stresses and shape distortions in generatively manufactured implants
 in Proc. of Regenerative Medicine, Hughes, D.; Manzotti, E. (Eds.), Future Medicine Ltd. London, UK (2009) 103-104; M 144/2009
- Jiao, M.; Rehl, A.; Sagel, A.; Mollenhauer, O.; Scherge, M.
Friction and wear studies of AISi liners
 in Proc. of 17th International Colloquium Tribology – Solving Friction and Wear Problems, Bartz, W. J. (Ed.), Technische Akademie Esslingen TAE, Ostfildern (2010) 66; M 13/2010
- John, M.; Rinker, M.; Zahlen, P. C.; Schäuble, R.
Effects of thermal and humidity treatment on mechanical properties of cfrp foam core sandiwch structures
 in Proc. of 14th European Conference on Composite Materials (ECCM 14), European Society of Composite Materials (ESCM), Digital c/o Prof. Leif Asp, Swerea SICOMP AB, Moelndal, Sweden (2010) 50; M 107/2010
- Kalivoda, E. M.; Mrovec, M.; Elsässer, C.
Electronic structure and transport properties of transition-metal/SrTiO₃(100) heterojunctions
 in Proc. of 5th International Conference Multiscale Materials Modeling MMM2010; Gumbsch, P.; Van der Giessen, E. (Hrsg.), Fraunhofer Verlag, Stuttgart (2010) 777-780; M 113/2010
- Khader, I.; Kailer, A.
Silicon nitride wire-rolling tools: a failure-mode analysis and correlation with rolling-contact fatigue
 in Proc. of 11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society, Bučko, M. M.; Haberko, K.; Pędzich, Z.; Zych, L. (Eds.), Polish Ceramic Society, Krakau, Polen (2009) 74-83; M 15/2009
- Knoll, H.; Weidenauer, W.; Ingram, P.; Bennemann, S.; Brand, S.; Petzold, M.
Ceramic substrates with aluminum metallization for power application
 in Proc. of Electronics System Integration Technology Conference ESTC 2010; Fraunhofer IZM, Berlin (2010) CD-ROM; M 119/2010
- Kohn, C.; Hug, M.; Kübler, R.; Krappitz, M.; Kleer, G.
Increase of the strength of screen printed silicon solar cells by post treatments
 in Proc. of 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; WIP-Renewable Energies, München (2010) 2062-2065; M 210/2010
- Körner, W.
Grundlagen für transparente und leitfähige Oxide
 in OTTI Tagungsband; OTTI, Regensburg (2010) 10; M 204/2010
- Krause, M.; Klengel, R.; Cismak, A.; Petzold, M.; Altmann, F.
Hochauflösende Metrologie für die Mikro-Nanointegration
 in Proc. of Mikro-Nano-Integration, 2. GMM-Workshop; VDE Verlag GmbH, Berlin-Offenbach (2010) 100-104; M 121/2010
- Krause, M.; März, B.; Bennemann, S.; Petzold, M.
High resolution analysis of intermetallic compounds in micro-electronic interconnects using electron backscatter diffraction and transmission electron microscopy
 in Proc. of 60th Electronic Components and Technology Conference 2010, Las Vegas, ECTC Printing House, Stoughton, Wisconsin, USA (2010) 591-598; M 125/2010
- Krishnasamy, R.; Siegele, D.
3D modelling of a multi pass dissimilar tube welding and post weld heat treatment of nickel based alloy and chromium steel
 in Proc. of International Conference WELDS; Electric Power Research Institute, Palo Alto, USA (2009) CD-ROM ID #1020675; M 10/2009
- Kroll, M.; Käsebier, T.; Otto, M.; Salzer, R.; Wehrspohn, R. B.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.
Optical modeling of needle like silicon surfaces produced by an ICP-RIE process
 in Proc. of SPIE, Vol. 7725, 772505; Wehrspohn, R. B.; Gombert, A. (Eds.), SPIE, Bellingham WA, USA (2010) 0277-786X/10/10\$18; M 177/2010
- Lorenz, G.; Petzold, M.; Mittag, M.; Dresbach, D.; Milke, E.
Mechanical characterization of gold and copper free air balls in thermosonic wire bond interconnections
 in Proc. of Electronics System Integration Technology Conference ESTC 2010; Fraunhofer IZM, Berlin (2010) CD-ROM; M 166/2010
- Lubinsky, A. R.; Johnson, J. A.; Schweizer, S.; Weber, J. K. R.; Nishikawa, R. M.; Domenicali, P.; Fantone, S. D.
Scanning translucent glass-ceramic x-ray storage phosphors
 in Proc. of SPIE, Samei, E.; Pelc, N. J. (Eds.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010)76223W; M 85/2010
- Luke, M.; Varfolomeev, I.
Ableitung von Inspektionsintervallen für Radsatzwellen auf Basis bruchmechanischer Methoden
 in Tagungsband DVM-Tag 2010 »Die Eisenbahn und ihre Werkstoffe – Neue Entwicklungen in der Bahntechnik« Mädler, K. (Hrsg.), Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2010) 111-120; M 108/2010
- Luke, M.; Varfolomeev, I.
Fracture mechanics assessment of crack propagation behaviour in railway axles
 in Proc. of 8th Int. Conf. on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems; Bracciali, A. (Ed.), Firenze, Italien (2009) 521-525; M 33/2009
- Lütkepohl, K.; Esderts, A.; Luke, M.; Varfolomeev, I.
Sicherer und wirtschaftlicher Betrieb von Eisenbahnfahrwerken
 in Tagungsband 10. Internationale Schienenfahrzeugtagung; Löffler, G. (Hrsg.), DVV Media Group GmbH, Hamburg (2009) 14-16; M 193/2010
- Maier, G.; Seifert, T.; Riedel, H.
Failure and fatigue life prediction of automotive cast iron materials under thermomechanical loading
 in Proc. of International Conference on Failure Analysis and Repair Welding (ICFARW 09), Central Metallurgical Research & Development Institute, Cairo, Egypt (2009) 125-136; M 10/2010
- März, B.; Scheibe, S.; Graff, A.; Petzold, M.
Growth behaviour of gold-aluminum intermetallic phases (IMP) in temperature aged ball bonds observed by electron backscatter diffraction
 in Proc. of Electronics System Integration Technology Conference ESTC 2010; Fraunhofer IZM, Berlin (2010) CD-ROM; M 135/2010
- Moutanabbir, O.; Reiche, M.; Hahnel, A.; Erfurth, W.; Motohashi, M.; Tarun, A.; Kawata, N. S.; Naumann, F.; Petzold, M.; Holt, M.; Maser, J.
Strain stability in nanoscale patterned strained silicon-on-insulator
 in Proc. of 218th Meeting of the Electrochemical Society Symposia; ESC, Pennington, New Jersey, USA (2010) 1-5; M 184/2010
- Naumann, F.; Moutanabbir, O.; Reiche, M.; Schriever, C.; Schilling, J.; Petzold, M.
Numerical investigations of the strain behavior in nanoscale patterned strained silicon structures
 in Proc. of 11th Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, EuroSimE 2010; VDE Verlag GmbH, Berlin-Offenbach (2010) 1-5; M 4/2010

- Naumann, F.; Schriever, C.; Bohley, C.; Schilling, J.; Petzold, M.
Numerische Analyse der Spannungsrelaxation nanostrukturierter siliziumbasierter optischer Wellenleiter zur Erzeugung nichtlinearer optischer Effekte
 in GMM-Fachbericht Band 63, VDE Verlag GmbH, Berlin (2010) 93-96; M 7/2010
- Paßlick, C.; Henke, B.; Császár, I.; Ahrens, B.; Miclea, P.-T.; Johnson, J. A.; Schweizer, S.
Advances in up- and down-converted fluorescence for high efficiency solar cells using rare-earth doped fluorozirconate-based glasses and glass ceramics
 in Proc. of SPIE, 777/2; Tsakalakos, L. (Ed.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 77720A; M 161/2010
- Petzold, M.; Altmann, F.; Krause, M.; Salzer, R.; Schmidt, C.
Micro structure analysis for system in package components – novel tools for fault isolation, target preparation, and high-resolution material diagnostics
 in Proc. of 60th Electronic Components and Technology Conference ECTC 2010, Las Vegas, Printing House, Stoughton, Wisconsin, USA (2010) 1296-1302; M 126/2010
- Pfeiffer, W.; Wenzel, J.
Shot peening of brittle materials – status and outlook
 in Proc. of 6th International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials, THERMEC 2009; Chandra, T.; Wanderka, N.; Reimers, W.; Ionescu, M. (Eds.), Trans Tech Publications Ltd. Stafa-Zürich, Schweiz (2009) 799-804; M 7/2010
- Renz, A.; Kailer, A.; Koplin, C.
Testing the feasibility of new ceramic cutting tools – a case study on experimental and numerical evaluation of geometry and machining techniques
 in Proc. of 11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society; Bučko, M. M.; Haberko, K.; Pędzich, Z.; Zych, L. (Eds.), Polish Ceramic Society, Krakau, Polen (2009) 1006-1012; M 53/2009
- Rinker, M.; John, M.; Schäuble, R.
Investigation of sandwich crack stop elements under fatigue loading
 in Proc. of 9th International Conference on Sandwich Structures; Ravichandran G. (Ed.), California Institute of Technology, Pasadena, USA, CD-ROM (2010); M 164/2010
- Rinker, M.; John, M.; Schäuble, R.
Untersuchungen zur Schadenstoleranz von CFK-Schaum-Sandwichstrukturen mit Hilfe von DCB- und ENF-Tests
 in Tagungsband »Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2010«; DLR, CD-ROM (2010) 161160; M 165/2010
- Rist, T.; Schmitt, W.
Numerical simulation of the crimping process
 in Supplemental Proc. Vol. 3 of 138th The Minerals, Metals & Materials Society TMS Annual Meeting & Exhibition Collected Proceedings; TMS, Warrendale, PA, USA (2009) 517-522; M 73/2010
- Salzer, R.; Graff, A.; Simon, M.; Altmann, F.
Quantitative assessment of TEM-sample warping caused by FIB preparation
 in Proc. of Microscopy & Microanalysis 2010; Cambridge University Press, Cambridge UK (2010) 172-173; M 131/2010
- Sander, M.
PV-module characterization by combination of mechanical, optical and electrical analysis methods
 in Proc. of 2nd Symposium on Mechanical Issues on Manufacturing and Application of Solar Cells and Modules; Fraunhofer IWM, Halle/Saale (2010) CD-ROM; M 157/2010
- Sander, M.; Henke, B.; Schwarz, H.; Dietrich, S.; Schweizer, S.; Ebert, M.; Bagdahn, J.
Characterization of PV modules by combining results of mechanical and electrical analysis methods
 in Proc. of SPIE Optics+Photonics, Vol. 7773, SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 777308; M 158/2010
- Sander, M.; Henke, B.; Schweizer, S.; Ebert, M.; Bagdahn, J.
PV module defect detection by combination of mechanical and electrical analysis methods
 in Proc. of 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.; IEEE, Piscataway, NJ, USA (2010) 1765-1769; M 159/2010
- Sander, M.; Henke, B.; Schweizer, S.; Ebert, M.; Bagdahn, J.
PV module defect detection by combination of mechanical and electrical analysis methods
 in Proc. of 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC) & 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC), WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH&Co Planungs KG, München (2010) 3993-3997; M 160/2010
- Sarau, G.; Bochmann, A.; Christiansen, S.; Schönfelder, S.
Stresses and their relation to defects in multicrystalline solar silicon
 in Proc. of 35th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, IEEE, Piscataway, NJ, USA (2010) 699-703; M 189/2010
- Scherge, M.; Dienwiebel, M.
Levers of tribological optimization
 in Proc. of 17th International Colloquium Tribology – Solving Friction and Wear Problems; Bartz, W. J. (Ed.), Technische Akademie Esslingen TAE, Ostfildern (2010) 13; M 15/2010
- Schlimper, R.; Müller, M.; Willner, F.; Rinker, M.; Schäuble, R.
Resin absorption and deformation behaviour of foam core materials for high performance sandwich panels
 in Proc. of 14th European Conference on Composite Materials (ECCM) European Society of Composite Materials (ESCM); digital; c/o Prof. Leif Asp, Swerea SICOMP AB, Moelndal, Sweden (2010) 56; M 105/2010
- Schmidt, C.; Altmann, F.; Schlangen, R.; Deslandes, H.
Non-destructive defect depth determination at fully packaged and stacked die devices using Lock-in Thermography
 in Proc. of 17th International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits IPFA, IEEE, Singapore (2010) 1-5; M 209/2010
- Schmidt, C.; Große, C.; Altmann, F.; Schulz, J.; Seibt, A.
Application of lock-in thermography for backside failure localization using solid immersion lenses
 in Proc. of 36th International Symposium for Testing and Failure Analysis, ISTFA, ASM International, Ohio, USA (2010) CD-ROM; M 225/2010
- Schmidt, I.
Effective viscous sintering parameters for heterogeneous plate-like structures using numerical homogenisation
 in Proc. of Applied Mathematics and Mechanics; Wieners, C. (Ed.), WILEY-VCH Verlag, Weinheim (2010) 421-422; M 69/2010
- Schönfelder, S.; Oswald, M.; Fischer, C.; Zuehlke, H.-U.; Berbig, C.; Geppert, T.; Wuetherich, T.; Krokoszinski, H.-J.; Bagdahn, J.
Investigations of laser and design parameters of via holes on mechanical strength of metal wrap through solar cells
 in Proc. of 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH, München (2010) 2578-2583; M 191/2010
- Schweizer, C.; Seifert, T.; Riedel, H.
Simulation of fatigue crack growth under large scale yielding conditions
 in Proc. of 15th International Conference on the Strength of Materials Institute of Physics Publishing, Journal of Physics: Conference Series 240; Dresden (2010) 012043; M 11/2010
- Schweizer, S.; Henke, B.; Ahrens, B.; Paßlick, C.; Miclea, P.-T.; Wenzel, J.; Reisacher, E.; Pfeiffer, W.; Johnson, J. A.
Progress on up- and down-converted fluorescence in rare-earth doped fluorozirconate-based glass ceramics for high efficiency solar cells
 in Proc. of SPIE, Vol. 7725; Wehrspohn, R. B.; Gombert, A. (Eds.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 77250X-1; M 88/2010
- Schweizer, C.; Seifert, T.; Riedel, H.
Rissverhalten unter anisothermen Beanspruchungsbedingungen – Berechnungsverfahren für Nickelbasislegierungen
 in Heft R 552 der Informationstagung Turbomaschinen, FVV, Frankfurt (2010) 159-183; M 153/2010

- Seifert T.; Metzger M.; Nieweg B.
Rechenmodelle zur Lebensdauervorhersage von Motorbauteilen unter thermomechanischer und überlagerter hochzyklischer Ermüdungsbeanspruchung
 in Heft R 551 der Informationstagung Motoren; FVV, Frankfurt (2010) 277-303; M 149/2010
- Siegele, D.; Varfolomeev, I.; Hohe, J.; Hardenacke, V.
Integrity assessment of a German PWR RPV considering loss of constraint
 in Proc. of 2010 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference Kwon, Y. W.; Jin, T. E.; Hafner, R. S. (Eds.), American Society of Mechanical Engineers ASME, New York, USA (2010) CD-ROM PVP 2010-25615; M 5/2010
- Siegele, D.; Varfolomeev, I.; Hohe, J.; Hardenacke, V.; Nagel, G.
Brittle failure assessment of RPV considering loss of constraint from transient LOCA conditions
 in Proc. of International Symposium Fontevraud 7; Pradel, P.; Dubuisson, P. (Eds.), French Nuclear Energy Society, Paris, Frankreich (2010) CD-ROM; M 84/2010
- Siegele, D.; Varfolomeev, I.; Ivanov, D.
Probabilistic failure assessment of nuclear piping components
 in Proc. of 36th MPA-Seminar 2010, Roos, E. (Hrsg.), Staatliche Materialprüfungsanstalt, Stuttgart (2010) 32.1-32.17; M 170/2010
- Siegele, D.; Varfolomeev, I.; Pyttel, B.
Bruchmechanische Fehlerbewertung mit Hilfe der FKM-Richtlinie – Fallbeispiele aus der industriellen Praxis
 in Tagungsband FKM-Tagung Neue Entwicklungen für die Bauteilfestigkeitsnachweise, Berger, C.; Vormwald, M. (Hrsg.), Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2010) 251-260; M 180/2010
- Sommer, S.
Fracture modeling of spot welds and rivets for crash simulation
 in Tagungsband Simulations of Connections and Joints in Structures, NAFEMS, Bernau am Chiemsee (2010) 9; M 52/2010
- Sommer, S.
Modeling of the fracture behavior of spot welds using advanced micromechanical damage models
 in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2010 Vol. 10: 9th World Congress on Computational Mechanics and 4th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics; Douglas, G. (Ed.), IOP Publishing Ltd., Bristol, UK (2010) 1-10; M 44/2010
- Sommer, S.; Andrieux, F.; Blauel, J.-G.
Schädigungssimulation und Crashversuche an druckgegossenen Magnesium-Bauteilen
 in »Neue Entwicklungen für die Bauteilfestigkeitsnachweise« Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., DVM; Berlin (2010) 75-84; M 60/2010
- Sommer, S.
Versagensmodellierung von Fügeverbindungen in der Crashsimulation
 Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau 2010; VDI-FVT, VDI Verlag, Düsseldorf (2010) 183-203; M 151/2010
- Sun, D.-Z.; Andrieux, F.
Simulation of the process chain from forming to crash taking into account stochastic aspects
 in Konferenzband 9. LS Dyna Anwenderforum, DYNAMore, Stuttgart (2010) H-I-1 bis H-I-10; M 146/2010
- Sun, D.-Z.; Helbig, M.; Andrieux, F.
Charakterisierung und Modellierung des Crashverhaltens unter Berücksichtigung stochastischer Aspekte
 in Tagungsband Simulation für robuste Produkte und Prozesse, Burbli, A.; Clees, T.; Sauter, C. (Hrsg.), IAB Verlag, Bielefeld 2010; M 39/2010
- Sun, D.-Z.; Ockewitz, A.; Andrieux, F.
Modeling of damage behavior of cast aluminum components taking into account porosity effects
 in Proc. of 12th International Conference on Aluminium Alloys ICAA, Japan Institute of Light Metals, Yokohama, Japan (2010) 1302-1307; M 64/2010
- Szyszka, B.; Polenzky, C.; Loebmann, P.; Götzendörfer, S.; Elsässer, C.; Körner, W.
Pathways towards p-type oxide layers for optoelectronic applications
 Vincenzini, P.; Ginley, D. S.; Bruno, G.; Rigamonti, A.; Zheludev, N. (Eds.), Trans Tech Publications, Stafa-Zurich, Schweiz (2010) 16-24; M 202/2010
- Üpping, J.; Bielawny, A.; Fahr, S.; Rockstuhl, C.; Lederer, F.; Steidl, L.; Zentel, R.; Beckers, T.; Lambertz, A.; Carius, R.; Wehrspohn, R. B.
Micromorph silicon tandem solar cells with fully integrated 3D photonic crystal intermediate reflectors
 Proc. of Photonics for Solar Energy Systems III SPIE, Vol. 7725; Wehrspohn, R. B.; Gombert, A. (Eds.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 77250K-77250K-7; M 179/2010
- Üpping, J.; Bielawny, A.; Ulbrich, C.; Peters, M.; Goldschmidt, J. C.; Steidl, L.; Zentel, R.; Beckers, T.; Lambertz, A.; Carius, R.; Rau, U.; Wehrspohn, R. B.
3D photonic crystals for photon management in solar cells
 in Proc. of SPIE, Vol. 7756 77560A-1 Active Photonic Materials III, Subramania, G. S.; Foteinopoulou, S. (Eds.), SPIE, Bellingham WA, USA (2010); M 175/2010
- Üpping, J.; Ulbrich, C.; Helgert, C.; Peters, M.; Steidl, L.; Zentel, R.; Pertsch, T.; Rau, U.; Wehrspohn, R. B.
Inverted-opal photonic crystals for ultra light-trapping in solar cells
 in Proc. of SPIE, Vol. 7725, Wehrspohn, R. B.; Gombert, A. (Eds.), SPIE, Bellingham, WA, USA (2010) 0277-786X/10/\$18, M 178/2010
- van Herwijnen, A.; Heierli, J.
A field method for measuring slab stiffness and weak layer fracture energy
 in Proc. of International Snow Science Workshop, Johnson, R. (Ed.), International Conference Services, Ltd., Vancouver, Canada (2010) 232-237; M 215/2010
- Varfolomeev, I.; Luke, M.; Burdack, M.
Fatigue and fretting fatigue behaviour of a railway axle steel A47
 in Proc. of 8th Int. Conf. on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems, Bracciali, A. (Ed.), AB Editore, Firenze, Italien (2009) 539-542; M 127/2010
- Varfolomeev, I.; Luke, M.; Moroz, S.; Burdack, M.
Vergleichende Analysen zum zyklischen Rissfortschrittsverhalten im schwellenwertnahen Bereich
 in Tagungsband 42. Tagung DVM-Arbeitskreis Bruchvorgänge »Bruchmechanische Werkstoff- und Bauteilbewertung: Beanspruchungsanalyse, Prüfmethode und Anwendungen«; Klingbeil, D. (Hrsg.), Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2010) 41-49; M 67/2010
- von Hartrott, P.
Verbesserte Methoden zur Lebensdauerberechnung von Abgasturbolader-Radialverdichterräder aus hochwarmfesten Aluminiumlegierungen
 in Tagungsband FVV Frühjahrstagung 2010, FVV Frankfurt am Main (2010) 135-150; M 76/2010
- Vormwald, M.; Seeger, T.; Versch, C.; Siegele, D.; Leis, P.
Weiterentwicklung des statischen Festigkeitsnachweises
 in Tagungsband FKM-Tagung Neue Entwicklungen für die Bauteilfestigkeitsnachweise, Berger, C.; Vormwald, M. (Hrsg.), Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2010) 115-137; M 181/2010
- Walter, M.; Moseler, M.
Determination of structure and electronic properties of free, supported and ligand protected metal clusters by density functional theory
 in Schriften des Forschungszentrums Jülich NIC Symposium 2010, IAS Series, Forschungszentrum Jülich, Jülich (2010) 199-206; M 31/2010
- Wendt, J.; Träger, M.; Klengel, R.; Petzold, M.; Schade, D.; Sykes, R.
Improved quality test method for solder ribbon interconnects on silicon solar cells
 in Proc. of Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), 12th IEEE Intersociety Conference, IEEE, Las Vegas, NV, USA (2010) 10.1109/ITHERM.2010.5501299; M 218/2010

IMPRESSUM

Redaktion

Katharina Hien
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
Telefax +49 761 5142-110

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

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

Bildquellen

Titelseite: Falk Hegewald
Seiten 3, 19, 29, 37, 43, 51, 59, 65, 71: © Jürgen Jeibmann
Photographik, Leipzig
Seite 8 links: © Klaus-Tschira-Stiftung
Seite 9 rechts: © Dirk Mahler/Fraunhofer
Seite 8 rechts, 13, 77: © Benjamin Blankenburg, Freiburg
Seite 26: © Felizitas Gemetz
Seite 39: © Voith Turbo
Seite 47: © Daimler AG

Alle übrigen Abbildungen:
© Fraunhofer IWM