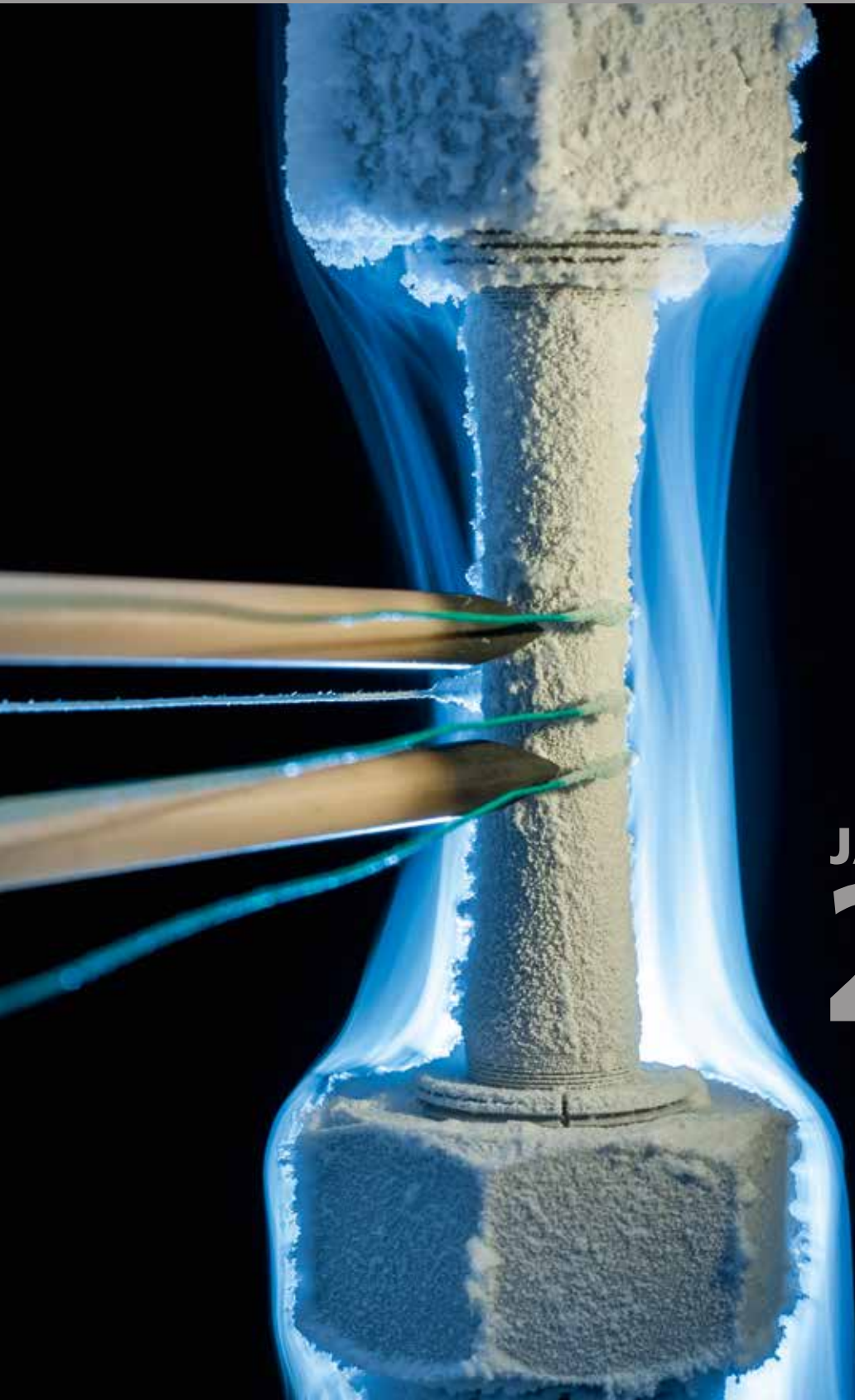




Fraunhofer
IWM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFFMECHANIK IWM



JAHRESBERICHT
2014



*Dehnungsgeregelter Ermüdungsversuch bei kryogener Temperatur von -196 Grad Celsius.
Die Hohlprobe wird dabei von flüssigem Stickstoff durchströmt.*

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 67 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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

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

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

www.fraunhofer.de

JAHRESBERICHT 2014

**Fraunhofer-Institut
für Werkstoffmechanik IWM**

Fraunhofer IWM Freiburg
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg
Telefon +49 761 5142-0

Fraunhofer IWM Halle
Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle
Telefon +49 345 5589-0

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



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

VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,

als führendes Institut der Werkstoff- und Bauteilforschung ist es unser Anspruch, den Megathemen wie Energiewende, Nachhaltigkeit, Industrie 4.0 oder Ressourceneffizienz mit konkreten Lösungen zur Umsetzung zu verhelfen. Die Werkstoffmechanik beweist hierbei ihre Stärke als Querschnittskompetenz, indem sie an vielen Stellen mit grundlegendem Werkstoffverständnis dazu beiträgt, Innovationen zu ermöglichen und ihnen zum Durchbruch zu verhelfen. Unser Know-how wirkt in vielen Produkt- und Technologieentwicklungen als eine Art Doping, das Systemen von innen heraus zu den geforderten Funktionen und Leistungen verhilft. Unser Potenzial entfalten wir in enger Wechselwirkung mit unseren Partnern.

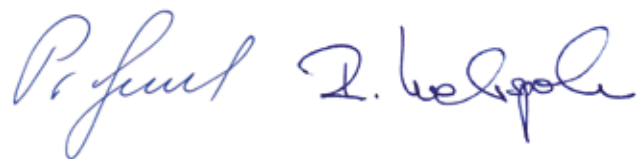
Ein schöner Beleg dafür ist der Gewinn des Wissenschaftspreises für Verbundforschung des Stifterverbandes für die deutsche Wissenschaft im Mai 2014. Gemeinsam mit den Firmen Dr. Tillwisch GmbH Werner Stehr aus Horb und Nematel GmbH in Mainz haben die Kollegen Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Aman aus Freiburg eine neue Schmierstoffklasse auf der Basis von Flüssigkristallen entwickelt, die ein enormes Potenzial in Sachen Effizienz versprechen.

Die Nachhaltigkeit werkstoffmechanischer Expertise konnte in einigen Projekten in Halle eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden. Auf fundierter Mikrostrukturanalytik basierend hat das Fraunhofer IWM mit industriellen Partnern Geräteentwicklungen zur Prüfung und Bewertung von Solarzellen oder Mikrosystemen realisiert, die zwischenzeitlich erfolgreich vermarktet werden.

Die Weichenstellungen für solche Erfolge schaffen wir nicht zuletzt mit unserer marktorientierten strategischen Ausrichtung. Im November haben wir die Strategien des Freiburger Geschäftsfelds Tribologie und des Fraunhofer-Centrums für Silizium-Photovoltaik in Halle in je einem Strategieaudit von externen Auditoren aus Industrie und Wissenschaft begutachten lassen. Wie schon in Strategieaudits vergangener Jahre ist die kritische Auseinandersetzung mit den eigenen Annahmen zu Märkten, Wettbewerbern und Kunden fester Bestandteil unseres Strategieprozesses und eine nachhaltige Qualitätssicherungsmaßnahme für unsere Positionierung.

In Freiburg haben wir im Zuge des altershalben Ausscheidens verdienter Geschäftsfeldleiter eine neue Aufstellung in nun fünf Geschäftsfelder mit teilweise neuen Leitungspersonlichkeiten entwickelt und umgesetzt. Davon versprechen wir uns und vor allem unseren Geschäftspartnern hochwertige Antworten auf werkstoffmechanische Fragestellungen in jeder Phase des Produktlebenszyklus.

Mehr zu den hier angesprochenen und vielen weiteren Themen finden Sie im vorliegenden Jahresbericht. Wir wünschen Ihnen eine inspirierende Lektüre.



Prof. Dr. Peter Gumbsch

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn



*Die Institutsleiter des Fraunhofer IWM: Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn (links);
Prof. Dr. Peter Gumbsch, Sprecher der Institutsleitung (rechts).*

INHALT

Institutsprofil

Das Fraunhofer IWM im Profil	6
Das Institut in Zahlen	7
Fortschrittliche Lösungen mit dem Fraunhofer IWM	8
Kuratorium	10
Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2014 – Forschung im Verbund	11
Organisation und Ansprechpartner	12

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Materialdesign	14
Lokale mechanische Eigenschaftsbestimmung	16
Korrosionsschutzbeschichtungen für Solarthermie-Kraftwerke	18
Eisen-Störstellen in Photovoltaik-Silizium	19
Fertigungsprozesse	20
Modellierung innovativer Blechwerkstoffe aus TWIP-Stahl	22
Das richtige Opferplattenmaterial für den Siliziumsägeprozess finden	24
Simulation des Sprühtrocknens keramischer Suspensionen	25

Tribologie	26
Haftfeste Diamantbeschichtungen für Hartmetallwerkzeuge ..	28
Tribologie von Schneidkeramiken bei hohen Geschwindigkeiten	30
Dünner geht es nicht! Ultimativer Versleißschutz mit Graphen	31
Verhaltensänderung bei Polyamid-Gleitlagern	32
Mikrostruktur-Charakterisierung reibungsbelteter Eisenoberflächen	33
Bauteilsicherheit und Leichtbau	34
Probabilistische Fehlerbewertung	36
Schädigungsmodellierung von langfaserverstärkten Thermoplasten	38
Crashverhalten von Leichtbaustählen bei komplexen Belastungen	39
Bruchverhalten von Punktschweißverbindungen in hochfesten Stählen	40
Kriechen faserverstärkter Kunststoffe	41
Werkstoffbewertung, Lebensdauerkonzepte ...	42
Modellierung der Ausscheidungskinetik einer Cu-Legierung	44
Bewertung des thermomechanischen Ermüdungsrisswachstums	46

Polymeranwendungen	48	Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP	68
Recyclathaltige Laufflächen für runderneuerte Nutzfahrzeugreifen	50	Zuverlässige Module – Lernen aus Schäden und Ertragsanalysen	70
In situ-Röntgen-Computertomographie an Polymerhartschäumen	52	Potenzial-induzierte Degradation: Ursachen und Vermeidung	72
Hybridspritzguss mit endlosfaserverstärkten Thermoplasten	54	Schnecken Spuren in PV-Modulen sind vermeidbar	73
Leiterplattensubstrate aus nachwachsenden Rohstoffen	55	Solarzellen im Modul: Bruch- und mechanische Zuverlässigkeit	74
Biologische und makromolekulare Materialien	56	Lebensdaueranalyse von Solarmodulen	75
Sensible Zähne: Wirksamkeitsprüfung von Zahnpflegemitteln	58	Fraunhofer-Anwendungszentrum für Anorganische Leuchtstoffe	76
Plasmamodifizierte Kunststofffolien für effizienten Farbdruck	60	Lumineszierende Gläser für weiße Leuchtdioden	77
Oberflächenmodifizierung von Kunststoffen durch Nanoprägen	61	Vernetzung des Fraunhofer IWM	
Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik	62	Verbünde, Allianzen, Projektgruppen	78
Hochleistungsfähige Nanoelektronik mit Through Silicon Vias	64	Fraunhofer-Gemeinschaftsforschung, Innovationscluster und Spitzencluster	80
Für zuverlässige Automobilelektronik und Speichertechnik	66	Anhang	
Nanoanalytik komplexer Multimaterialverbünde ...	67	Technische Ausstattung	82
		Personen, Ausbildung, Ereignisse	86
		Veröffentlichungen	89
		Impressum	99

DAS FRAUNHOFER IWM IM PROFIL

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

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

Mission Fraunhofer IWM: Werkstoffe intelligent nutzen

Der intelligente Einsatz von Werkstoffen ist Schlüssel zum Erfolg und Investition in die Zukunft

Unsere Forschungsarbeiten ermöglichen innovative und zuverlässige Produkte bei unseren Kunden. Wir tragen zu einer Gesellschaft bei, die nach einer effizienten und nachhaltigen Nutzung von Energie und Ressourcen strebt.

Werkstoffe intelligent nutzen, heißt für uns:

Wir machen Mechanismen und Prozesse in Werkstoffen und Materialsystemen beherrschbar, indem wir sie bewerten und modellhaft beschreiben. Dadurch erschließen wir Reserven bei der Leistungsfähigkeit und Effizienz von technischen Systemen.

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

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

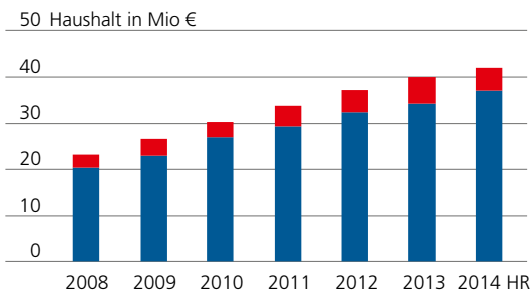
Als **Problemlöser** beseitigt das Fraunhofer IWM werkstoffbezogene oder technologie- und einsatzbedingte Schwachstellen.

Wir erfassen Werkstoffe bis in atomare Strukturen und nehmen Einfluss auf Wechselwirkungen. Damit können wir Werkstoffeigenschaften für geforderte und neue Funktionalitäten einstellen.

Wir durchdringen Materialsysteme und Fertigungsprozesse grundlegend und überführen sie in zuverlässige Produkte und Technologien. So verwirklichen wir gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft wettbewerbsentscheidende Innovationen.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

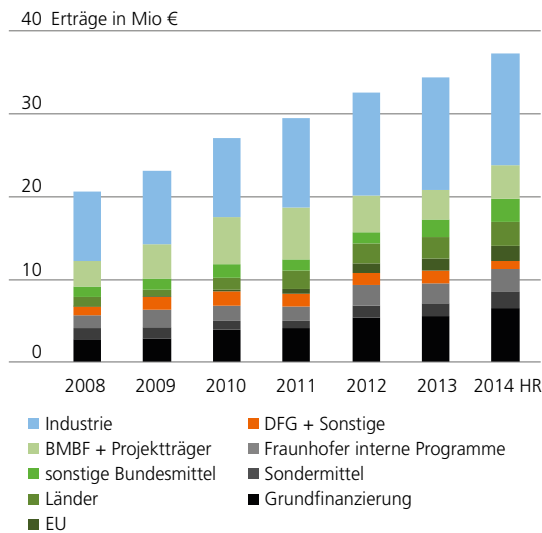
Haushalt



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

Der Haushalt des Fraunhofer IWM setzt sich zusammen aus einem Betriebshaushalt und einem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IWM ist weiter gewachsen und beläuft sich auf 37,3 Millionen Euro (Hochrechnung HR von November 2014). Davon entfallen 19,4 Millionen Euro auf den Institutsteil Freiburg und 17,9 Millionen Euro auf den Institutsteil Halle. Der Investitionshaushalt 2014 beträgt 5 Millionen Euro.

Der Anteil der Industrieerträge am Betriebshaushalt 2014 liegt bei 36,8 Prozent.

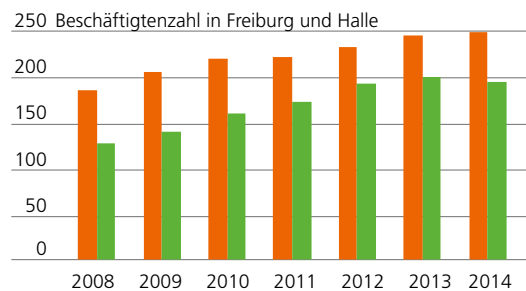


2 Entwicklung der Erträge des Fraunhofer IWM (Freiburg und Halle).

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

Personalentwicklung

Ende 2014 sind am Fraunhofer IWM insgesamt 441 Personen als Stammpersonal beschäftigt, davon 247 in Freiburg und 194 in Halle. Die Beschäftigtenzahl setzt sich zusammen aus 220 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, 121 technischen Beschäftigten, 84 Angestellten in der Infrastruktur und 16 Auszubildenden. Inklusive der 123 wissenschaftlichen Hilfskräfte, Diplomandinnen und Diplomanden sowie Praktikantinnen und Praktikanten waren Ende 2014 insgesamt 564 Personen am Fraunhofer IWM beschäftigt.



3 Personalentwicklung des Fraunhofer IWM in Freiburg (orange) und Halle (grün).

Stand: November 2014

FORTSCHRITTLICHE LÖSUNGEN MIT DEM FRAUNHOFER IWM

Mehrwert aus der Verzahnung von Experiment und Simulation

Die Symbiose aus experimentellen Versuchen und numerischen Simulationen verhilft unseren Kunden zu innovativen Lösungen, um die Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität ihrer Bauteile und Systeme einzustellen und zu verbessern.

Simulieren, was nicht messbar ist

Unsere Experten auf dem Gebiet der Mikrostruktursimulation wissen genau, welche Materialparameter beispielsweise für Hersteller von Umformteilen interessant sind: Wir haben eine neue Simulationsmethode für die virtuelle Ermittlung von Kennwerten entwickelt, die wir für Aluminiumwerkstoffe, weichen Tiefziehstahl und hochfesten Dualphasenstahl erfolgreich eingesetzt haben. Im virtuellen Labor für Umformprozesse können wir auf Basis experimentell gewonnener Werkstoffkennwerte Größen simulieren, die mittels experimenteller Versuche nicht oder nur sehr schwer zugänglich sind. Beispielsweise sind damit die komplexen Zug- und Druck-Belastungen, die beim Umformen entstehen, als lokale Spannungen zu berechnen und wir können feststellen, wann das Material plastisch zu fließen beginnt. Zudem berücksichtigt die Simulation die Texturänderungen bei großen Umformgraden.

Alexander.Butz@iwf.fraunhofer.de

Auswirkungen von Mikrostrukturveränderungen vorhersagen

In einem Gesamtpaket verknüpfen wir die Mikrostruktursimulation mit quantitativer Mikrostrukturanalyse um vorherzusagen, wie sich Änderungen in der Mikrostruktur auf die mechanischen Eigenschaften des betrachteten Werkstoffs auswirken. Beispielsweise helfen wir mit thermodynamischen Experimenten sowie Simulationen, die Lebensdauer von Kupferlegierungen zu verbessern, aus denen die Steckverbinder der Automobil-Elektronik bestehen.

Johannes.Preussner@iwf.fraunhofer.de, siehe auch Seite 44

Entwicklung der optimalen Dünnschicht

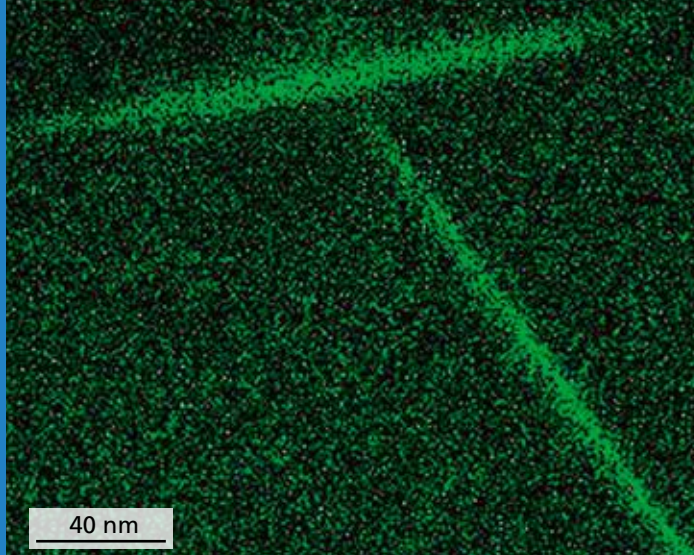
Bei Wälzlagern oder Umformwerkzeugen, die extremen zyklischen Belastungen ausgesetzt sind, kann die Beschichtung des Bauteils abplatzen. Um die ideale Dicke und die optimale Oberflächenstruktur der Dünnschichten zu bestimmen, nutzen wir die Kombination von experimenteller Charakterisierung und Simulation. Mithilfe der Simulationen sagen wir voraus, welche Oberflächenstrukturen im Nano- und Mikrometerbereich bei welcher Schichtdicke beispielsweise von Hartstoff-, DLC- oder Diamantschichten für eine lange Lebensdauer des Bauteils im Betrieb sorgen. Die Dünnschichten charakterisieren wir experimentell und verifizieren dadurch die Simulationsergebnisse.

Bernhard.Blug@iwf.fraunhofer.de

Individuelle Versuche für neue Werkstoffmodelle

Durch »Experiment und Simulation aus einer Hand« können wir hochwertige Simulationsergebnisse erzeugen, indem Details und Randbedingungen der Experimente sowie experimentell beobachtete Phänomene in die Werkstoffmodelle einfließen. Für spezielle Anwendungen entwickeln wir spezifische Versuchstechniken und Werkstoffmodelle. Im Automobilbau fehlen für manche Verbindungstechniken Werkstoffmodelle, die Aussagen über das Tragverhalten beim Crash treffen können. Um beispielsweise Schweißpunkt-Erweichungszonen simulieren zu können, haben unsere Experten spezielle Durchstoß- und Zugversuche entwickelt, um die Werkstoffgradienten zu bestimmen. Die Materialdaten flossen in ein Werkstoffmodell, mit dem das Verhalten eines virtuellen Bauteils im Crash simuliert wurde. Ein entsprechendes reelles Musterbauteil wurde experimentell untersucht und konnte die Simulationsrechnungen erfolgreich validieren.

Silke.Sommer@iwf.fraunhofer.de, siehe auch Seite 40



Messung der Natriumverteilung am Querschnitt eines PID-Kurzschlussdefekts in einer mono-kristallinen Silizium-Solarzelle (Aufnahme am TEM mit Super-X EDX Detektor).

Engineered by IWM

Erfolgreiche Mikrostrukturanalytik im Sinne unserer Kunden ist nur durch den Einsatz von hochkarätigem Instrumentarium möglich. Komplexe Fragestellungen erfordern passgenaue Gerätschaften und so engagieren wir uns aufbauend auf unserer langjährigen Erfahrung mit vorhandenen Techniken zunehmend für die Entwicklung neuer Geräte. Unabdingbar dafür sind langjährige Kooperationen mit unseren Industriepartnern. Einige Beispiele für diese erfolgreiche Form der Zusammenarbeit stellen wir hier vor.

Tester für Potenzial-induzierte Degradation

Potenzial-induzierte Degradation (PID) ist ein schwerwiegender Defekt in Photovoltaikanlagen, der auftritt, wenn sich durch die Reihenverschaltung hohe elektrische Spannungen zwischen Modulrahmen und verkapselten Solarzellen ausbilden. Forschungsergebnisse des Fraunhofer CSP zeigen, dass dann Kurzschlüsse der Solarzellen durch Kristalldefekte an der Zellenoberfläche hervorgerufen werden. Das Fraunhofer CSP entwickelte eine Testapparatur, um PID zerstörungsfrei im Labor zu erzeugen und Materialeinflüsse an Solarzellen und Verkapselungsmaterialien zu studieren. Der Partner Freiberg Instruments GmbH entwickelte darauf aufbauend das Gerät »PIDcon« bis zur Marktreife weiter. Die Kosten für die Untersuchung von Solarzellen auf PID-Anfälligkeit verringern sich damit im Vergleich zu herkömmlichen PID-Tests an Solarmodulen in Klimakammern auf einen Bruchteil.
Volker.Naumann@csp.fraunhofer.de, siehe auch Seite 72

Schnellere Vorpräparation für TEM-Lamellen

Der Erkenntnisgewinn durch Mikrostrukturanalytik ist eng verknüpft mit dem anwendungsspezifischen Einsatz von hochauflösenden Bildgebungsverfahren. Neueste Transmissionselektronenmikroskope sind zwar im Stande, Strukturdetails unter einem Angstrom aufzulösen, setzen dafür

aber eine anspruchsvolle Präparation der Proben voraus. Um diesen Vorgang massiv zu beschleunigen, entwickelte das Fraunhofer IWM gemeinsam mit der 3D-Micromac AG aus Chemnitz ein laserbasiertes Gerät zur Vorpräparation. Unter Verwendung ultrakurzer Laserpulse erreicht man dabei hohe Abtragsraten bei gleichzeitig sehr guter Fokussierung und geringer Probenschädigung, so dass neben der Beschleunigung auch völlig neue, an das Analyseverfahren angepasste Probengeometrien möglich sind. Das auf den Namen microPREP™ getaufte Gerät bietet so auch die Möglichkeiten zum Hochdurchsatzscreening im Bereich der Mikrostrukturaufklärung.

Thomas.Hoeche@iwmh.fraunhofer.de

Entwicklung eines akustischen GHz-Rastermikroskops

Für die Entwicklung von mikroelektronischen Bauteilen werden leistungsfähige Diagnostikverfahren benötigt, mit deren Hilfe Schwachstellen wie Rissbildungen oder Schichtablösungen schnell und zielgenau detektiert werden können. Zunehmende Miniaturisierung und Komplexität der zu analysierenden Elemente führen zu einem hohen Innovationsbedarf. Gemeinsam mit dem Gerätehersteller PVA Tepla Analytical Systems GmbH hat das Fraunhofer IWM ein weltweit einzigartiges rasterakustisches Mikroskop für den Hochfrequenzbereich von bis zu 2 GHz entwickelt. Die damit verbundenen Möglichkeiten der zerstörungsfreien Defektanalyse in Dünnschichtsystemen, die messtechnische Erfassung mechanischer Parameter sowie eine sehr hohe laterale und Tiefenaufklärung im einstelligen Mikrometerbereich erschließen neue Anwendungsbereiche für die akustische Mikroskopie.

Sebastian.Brand@iwmh.fraunhofer.de, siehe auch Seite 64

KURATORIUM

Das Kuratorium des Fraunhofer IWM 2014

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

- Dr. Alexander Sagel, Vorsitzender
KS Kolbenschmidt GmbH, Neckarsulm
- Prof. Dr. Lorenz Sigl, Stellvertretender Vorsitzender
Plansee SE Reutte, Österreich

- Dr. Markus Baur, BMW Group, München
- Dr. Karlheinz Bourdon, KraussMaffei Technologies GmbH,
München
- Siegfried Glaser, Glaser FMB GmbH & Co. KG, Beverungen
- MinDirig. Hans-Joachim Hennings, Ministerium für Wissen-
schaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt,
Magdeburg
- Dr. Florian Holzapfel, Calyxo GmbH, Bitterfeld-Wolfen
- Dr. Jürgen Kirschner, Robert Bosch GmbH,
Gerlingen-Schillerhöhe
- Dr. Roland Langfeld, Schott AG, Mainz
- Prof. Dr. Detlef Löhe, Karlsruher Institut für Technologie KIT
- Prof. Dr. Ingrid Mertig, Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

- Dr. Christoph Mühlhaus, Sprecher des Clusters Chemie/
Kunststoffe Mitteldeutschland, Halle (Saale)
- Prof. Dr. Rolf Mülhaupt, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Peter Putsch, Putsch Plastics GmbH & Co. KG, Nürnberg
- Hans-Jürgen Straub, X-FAB Semiconductor Foundries AG,
Erfurt
- Staatssekretär Marco Tullner, Ministerium für Wissenschaft
und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg
- MinRat Dr. Joachim Wekerle, Ministerium für Finanzen und
Wirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart
- Jens Wemhöner, Cerobear GmbH, Herzogenrath



*Die Gewinner des Wissenschaftspreises des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft:
Dr. Holger Kretzschmann (Nematel), Werner Stehr und Susanne Beyer-Faiß (Dr. Tillwich GmbH),
Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann (Fraunhofer IWM) (v.l.n.r.).*

Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2014 – Forschung im Verbund

Der mit 50 000 Euro dotierte »Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2014 – Forschung im Verbund« ging an eine Entwicklung von technisch nutzbaren Flüssigkristall-basierten Schmierstoffen, die für einen Durchbruch in der Schmierungstechnik sorgen könnten. Erarbeitet haben diese Lösung Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann vom Freiburger Fraunhofer IWM, die Nematel GmbH in Mainz sowie die Dr. Tillwich GmbH Werner Stehr aus Horb-Ahldorf.

Obwohl Schmierstoffe in allen Motoren, Getrieben, Produktionsmaschinen oder Ventilen für einen ruhigen Lauf sorgen, gab es auf diesem Gebiet in den vergangenen beiden Jahrzehnten keine grundlegenden Innovationen. Die neuentwickelten, sogenannten mesogenen Schmierstoffe können Reibungsverluste um 60 Prozent und den Gesamtverschleiß einer Schmierpaarung um etwa 20 Prozent verringern. Die Besonderheit dieser flüssigkristallbasierten Schmierstoffe: Sie sind flüssig, zeigen aber auch richtungsabhängige physikalische Eigenschaften wie ein Kristall.

Stäbchenförmige Moleküle bilden flüssige Kristallstruktur

Als Schmierstoff eignen sich diejenigen Flüssigkristalle, die aus stäbchenförmigen Molekülen bestehen, fanden die Wissenschaftler am Fraunhofer IWM heraus. »Gibt man den Flüssigkristall als Schmierstoff in einen Reibkontakt, richten sich die Stäbchen parallel zueinander in Schichten aus«, erklärt Dr. Andreas Kailer, stellvertretender Leiter des Geschäftsfelds Tribologie am Fraunhofer IWM. Diese

Schichten sind in sich sehr stabil, lassen sich aber leicht gegeneinander verschieben. Das reduziert die Reibung und den Verschleiß auf ein Minimum.

Um aus den Flüssigkristallen einen praxistauglichen Schmierstoff zu entwickeln, verbesserte die Tillwich GmbH mithilfe von Additiven die Stabilität der Flüssigkristall-Schmierstoffe. Zudem entwickelte die Firma einen speziellen Prüfstand, auf dem sie die extrem geringen Reibungswerte mit Lasertechnik berührungslos messen konnte. Dr. Tobias Amann entschlüsselte die Mechanismen, die zu den ultraniedrigen Reibwerten führen und fand heraus, wie die neuen Schmierstoffe gezielt weiter optimiert werden konnten. Außerdem untersuchte er die chemischen Mechanismen im Reibkontakt und die Auswirkung von Mischungen unterschiedlicher Flüssigkristallmoleküle. Am Ende des vom BMBF geförderten Projekts hatten die Partner den Prototypen eines flüssigkristallinen Schmierstoffs in der Hand, der seine beste Wirkung in Gleitlagern aus Eisen zeigt.

Zurzeit entwickelt das Team gemeinsam mit weiteren Industriepartnern innovative, mit Flüssigkristallen geschmierte Gleitlager für Elektrokleinmotoren in Autos, wie sie zum Beispiel in Lichtmaschinen oder zum Antrieb von Scheibenwischern zum Einsatz kommen.

Der Preis zeichnet alle zwei Jahre hervorragende wissenschaftliche Verbundprojekte aus, die nachweislich hochwirksam für die Wirtschaft sind. Dabei geht es stets um Kooperationen zwischen Fraunhofer-Instituten und Wirtschaftsunternehmen.

ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER

ORGANISATION FRAUNHOFER IWM FREIBURG

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

Materialdesign Prof. Dr. Christian Elsässer	Fertigungsprozesse Dr. Dirk Helm	Tribologie Prof. Dr. Matthias Scherge	Bauteilsicherheit und Leichtbau Dr. Dieter Siegele	Werkstoffbewertung, Lebensdauerkonzepte Dr. Wulf Pfeiffer
Funktionale Schichtmaterialien Dr. Frank Burmeister	Pulvertechnologie, Fluidodynamik Dr. Torsten Kraft	Verschleißschutz, Technische Keramik Dr. Andreas Kailer	Ermüdungsverhalten, Bruchmechanik Dr. Michael Luke	Mikrostruktur, Eigenspannungen Dr. Wulf Pfeiffer
Meso- und Mikromechanik Prof. Dr. Chris Eberl	Umformprozesse Dr. Dirk Helm	Multiskalenmodellierung und Tribosimulation Prof. Dr. Michael Moseler	Crashsicherheit, Schädigungsmechanik Dr. Dong-Zhi Sun	Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik Dr. Christoph Schweizer
Materialmodellierung Prof. Dr. Christian Elsässer	Bearbeitungsverfahren, Glasformgebung Dr. Rainer Kübler	Biomedizinische Materialien, Implantate Dr. Raimund Jaeger	Crashdynamik Dr. Dieter Siegele	
		Tribologische Schichtsysteme Dr. Sven Meier	Fügeverbindungen Dr. Silke Sommer	
		Mikrotribologie Dr. Martin Dienwiebel	Verbundwerkstoffe Dr. Jörg Hohe	

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

ORGANISATION FRAUNHOFER IWM HALLE

Institutsleiter Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn	Stellvertretender Institutsleiter Prof. Dr. Matthias Petzold	Verwaltungsleiter Thomas Merkel
--	--	------------------------------------

GEMEINSAM MIT ANDEREN FRAUNHOFER-INSTITUTEN BETRIEBENE FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

<p>Polymeranwendungen</p> <p>Prof. Dr. Peter Michel Prof. Dr. Mario Beiner (wiss. Leiter)</p>	<p>Biologische und makro- molekulare Materialien</p> <p>Prof. Dr. Andreas Heilmann</p>	<p>Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik</p> <p>Prof. Dr. Matthias Petzold</p>	<p>Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP</p> <p>Prof. Dr. Jörg Bagdahn Dr. Peter Dold*</p>	<p>Fraunhofer-Pilotanlagenzen- trum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ</p> <p>Prof. Dr. Michael Bartke**</p>
<p>Naturstoffkomposite</p> <p>Andreas Krombholz</p>	<p>Technologien für biofunktionale Oberflächen</p> <p>Prof. Dr. Andreas Heilmann</p>	<p>Bewertung elektronischer Systemintegration</p> <p>Sandy Klengel</p>	<p>Abteilung Zuverlässigkeit und Technologie für die Netzparität</p> <p>Prof. Dr. Jörg Bagdahn</p>	<p>Polymerverarbeitung</p> <p>Prof. Dr. Peter Michel</p>
<p>Polymerbasiertes Materialdesign</p> <p>Prof. Dr. Mario Beiner</p>	<p>Charakterisierung med. u. kosmet. Pflegeprodukte</p> <p>Dr. Andreas Kiesow</p>	<p>Nanomaterialien und Nanoanalytik</p> <p>Prof. Dr. Thomas Höche</p>	<p>Diagnostik Solarzellen Dr. Christian Hagendorf</p>	<p>Polymersynthese</p> <p>Dr. Ulrich Wendler**</p>
	<p>Bewertung von Materialien der Medizintechnik</p> <p>Dr. Sven Henning</p>	<p>Diagnostik Halbleiter- technologien</p> <p>Frank Altmann</p>	<p>Modulzuverlässigkeit Dr. Matthias Ebert</p>	
		<p>Anwendungszentrum Anorganische Leuchtstoffe</p> <p>Prof. Dr. Stefan Schweizer</p>	<p>Siliziumwafer Prof. Dr. Stephan Schönfelder</p>	
			<p>Modultechnologie Prof. Dr. Jens Schneider</p>	
			<p>Abteilung Labor für Kristallisationstechnologie</p> <p>Prof. Dr. Peter Dold*</p>	

* Fraunhofer ISE
** Fraunhofer IAP

<p>Infrastruktur</p> <p>Thomas Merkel</p>	<p>Projekte & Finanzen</p> <p>Helga Steinhäuser</p>	<p>Technische Dienste und IT</p> <p>Sebastian Gerling</p>	<p>Personal & Dienstreisen</p> <p>Constanze Reiche</p>
<p>Wissenschaftsmanagement</p> <p>Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn</p>	<p>Büro Institutsleitung</p> <p>Heike Gehritz</p>	<p>Öffentlichkeitsarbeit</p> <p>Clemens Homann</p>	<p>Business Development & Strategic Planning</p> <p>Prof. Dr. Manfred Fütting</p>



GESCHÄFTSFELDLEITER

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

Fokus

Mit simulatorischen und experimentellen Methoden, basierend auf der Festkörperphysik und Werkstoffmechanik, klären wir Materialverhalten auf und sagen Materialeigenschaften vorher. Dadurch können wir Materialstrukturen und -funktionen gestalten. Wir decken Einflüsse von Kristalldefekten und Gefügestrukturen auf das Materialverhalten im Großen auf. Wir nutzen diese Erkenntnisse, um in gezielter Weise Werkstoffe ressourcen- und energieeffizient zu kombinieren und dadurch technische Systeme nachhaltig zu verbessern.

Bemerkenswertes aus 2014

Im Laufe des Jahres 2014 ist unser neues Geschäftsfeld »Materialdesign« entstanden. Drei am Fraunhofer IWM schon etablierte Gruppen haben sich zusammengeschlossen, um zukünftig gemeinsam mit experimentellen und simulatorischen Methoden bewährte und neuartige Materialsysteme so zu gestalten, dass sich damit die Funktionsfähigkeit und Lebensdauer, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit von Produkten verbessern lässt. Auf Kristall- und Gefüge-Skalen strukturierte Materialsysteme werden mit physikalischen und chemischen Beschichtungsverfahren hergestellt, mit mikromechanischen Messtechniken charakterisiert sowie mit Atomistik- und Multiskalen-Simulationsmethoden modelliert.

In diesem Jahr ist es unseren Gruppen unter anderem gelungen, mit der Beschichtungstechnologie sogenannte MAX-Phasen, das sind ternäre Carbide oder Nitride mit stark anisotropen Schichtkristall-Strukturen und -Eigenschaften, abzuscheiden, mit der Mikromechanik unkonventionelle mechanische Eigenschaften nanolithographisch erzeugter Metamaterialien nachzuweisen sowie durch »Combinatorial High-Throughput Screening«-Simulationen ferromagnetische Kristallphasen, die gute hartmagnetische Eigenschaften haben, aber möglichst frei von kritischen Elementen sind, systematisch aufzuspüren.

» Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Produkten im Großen werden durch deren Materialeigenschaften bestimmt. Wir klären Eigenschaften und Mechanismen im Kleinen auf, um bekannte Materialien zu verbessern und neue Materialien zu gestalten.«

Gruppen



Funktionale Schichtmaterialien

Für industrielle Anwendungen in Optik und Mikrosystemtechnik entwickeln wir neue Schichtmaterialien. Um Werkzeuge und Komponenten zu schützen, erforschen wir neue Schichtmaterialien mit hoher Barrierewirkung gegen korrosive Spezies.

Dr. Frank Burmeister | frank.burmeister@iwf.fraunhofer.de



Meso- und Mikromechanik

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

Prof. Dr. Chris Eberl | chris.eberl@iwf.fraunhofer.de



Materialmodellierung

Mit physikalischen Modellen und numerischen Methoden simulieren wir das Verhalten von Werkstoffen, sagen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen voraus und leisten Beiträge zur Funktionsoptimierung und Materialsubstitution.

Prof. Dr. Christian Elsässer | christian.elsaesser@iwf.fraunhofer.de

LOKALE MECHANISCHE EIGENSCHAFTSBESTIMMUNG

Gruppe

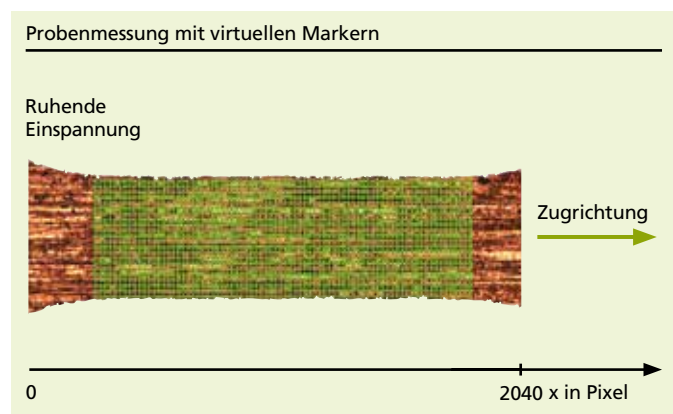
Meso- und Mikromechanik

Prof. Dr. Chris Eberl | Telefon +49 761 5142-495 | chris.eberl@iw.fraunhofer.de

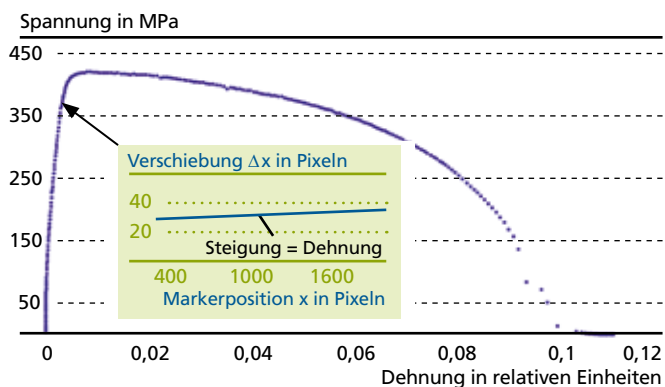
Ein umfassendes Verständnis von Materialverhalten unter mechanischer Belastung ist unabdingbar, um Materialien bis an ihre Grenzen belasten zu können und sie somit effizient und zuverlässig einzusetzen. Hierfür müssen komplexe Materialmodelle entwickelt werden, welche das lokale mikrostrukturelle Verhalten möglichst gut abbilden. Dieses lokale Materialverhalten kann häufig nur durch Untersuchungen an Mikroproben mit Abmessungen von einigen zehn oder hundert Mikrometer ermittelt werden, beispielsweise um die Tiefenabhängigkeit von Eigenschaften in gehärteten Zonen oder in Schweißverbindungen zu bestimmen. Daher stehen in der Gruppe Meso- und Mikromechanik zahlreiche selbstentwickelte Messapparaturen für quasistatische und zyklische Materialtests an Mikroproben zur Verfügung, bei denen berührungslose optische Dehnungsmessungen verwendet werden.

Echtzeit-Dehnungsmessung bei dynamischen Versuchen

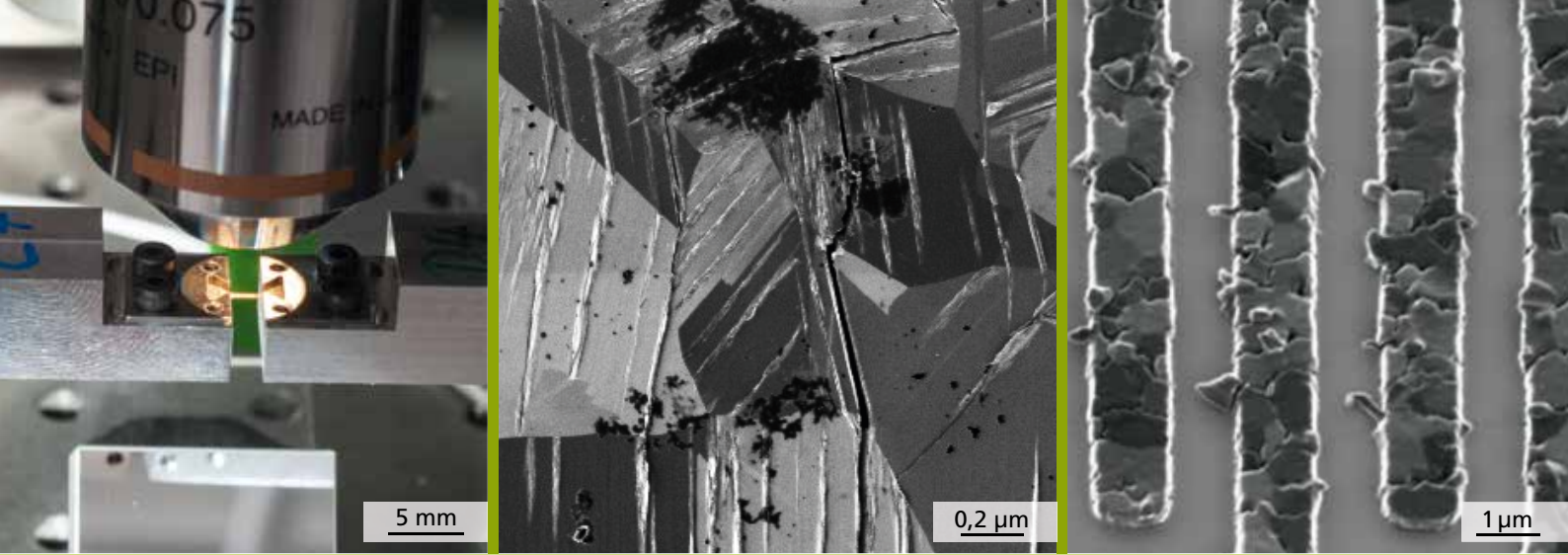
Um dehnungskontrollierte sinusförmige Ermüdungsversuche bei Frequenzen von 1 bis 100 Hz durchzuführen, müssen Verschiebungen im kHz-Bereich gemessen werden. Mithilfe von Echtzeitalgorithmen werden daraus Dehnungen berechnet, die in die Regelungssysteme von Ermüdungsapparaturen eingehen. Daher wurde ein Softwareprogramm mit LabView entwickelt, mit dem die Bewegung von Helligkeitsmarkern auf dunklem Hintergrund verfolgt werden kann. Dabei wird der Intensitätsschwerpunkt eines Bildausschnitts iterativ berechnet. Um das Programm zu validieren, wurde eine dunkle Probe mit aufgetragenen Helligkeitsmarkern unter einem Mikroskop mit angeschlossener Digitalkamera bewegt. Die Positionen der Helligkeitsmarker konnten erfolgreich in x- und y-Richtung



1 Zugversuch an einer Cu OFHC Mikroprobe (200 μm dick) mit Dehnungsmessung durch Bildkorrelation: Messung der Verschiebung von virtuellen Markern.



2 Spannungs-Dehnungs-Diagramm beim Zugversuch an einer Cu OFHC Mikroprobe (200 μm dick); die Dehnung als Steigung einer Interpolationsgeraden, entstanden durch die Verschiebung der virtuellen Marker.



*Zugprobe in Mikroermüdungsapparatur (links),
Ermüdungsschädigung: Extrusionen und Risse in einer Nickelprobe (Mitte),
geschädigte Leiterbahnen eines SAW-(surface acoustic wave-)Bauteils (rechts).*

verfolgt werden. Somit sind die Grundlagen erarbeitet, um die Dehnung einer Probe anhand der Verschiebung zweier Helligkeitsmarker in Echtzeit bestimmen zu können.

Optische Dehnungsmessung unter quasistatischen Bedingungen

Die Bildkorrelation kommt im Rahmen des EU-Projekts iStress zum Einsatz, um Dehnungen nach der Durchführung eines Experiments zu berechnen. Während des Versuchs werden Bilder einer sich verformenden Probe aufgenommen. Auf dem ersten Bild werden nachträglich zahlreiche Ausschnitte auf der Probe bestimmt (virtuelle Marker), deren Positionen von Bild zu Bild verfolgt werden, um ein Verschiebungsfeld und somit die auftretenden Dehnungen zu ermitteln. Nach einem Zugversuch kann beispielsweise für jedes aufgenommene Bild die Dehnung in Zugrichtung ermittelt werden. Hierfür werden die Verschiebungen aller virtuellen Marker über ihre Anfangsposition aufgetragen und linear interpoliert. Die Steigung der Interpolationsgeraden entspricht der Dehnung, ähnlich wie sie mit einem Extensiometer gemessen würde (Abbildung 2). Ein Schwerpunkt von iStress ist die Messung von eigenspannungsinduzierten Dehnungen im Rasterelektronenmikroskop durch Materialabtrag mit einem fokussierten Ionenstrahl.

Prozessoptimierung

Das Fundament für gute Dehnungsmessergebnisse ist eine qualitativ hochwertige Bilderfassung. Im Rasterelektronenmikroskop hängt diese von zahlreichen Einstellparametern ab, die durch Methoden der Prozessoptimierung angepasst werden. Das Themenfeld der Prozessoptimierung (gefördert durch das Fraunhofer TALENTA-Programm) umfasst hochdimensionale

Optimierungsaufgaben aus Material- und Ingenieurwissenschaften, die mit Methoden der Informatik und Mathematik gelöst werden. Dazu gehören Fragestellungen zu Modellierung und Regelung von Produktionsprozessen, die aufgrund ihrer Komplexität nur durch Approximationsmodelle (wie neuronale Netze) beschrieben werden können. Die daraus gewonnene Kenntnis der Zusammenhänge von Einflussgrößen und Ergebnis ermöglicht das gezielte Eingreifen in den laufenden Prozess für das aktuell bearbeitete Bauteil (Regelung) sowie die Anpassung des Prozesses für weitere Bauteile (Prozessverbesserung). Die Prozessoptimierung lässt sich auf zahlreiche interdisziplinäre Fragestellungen anwenden. Laufende und geplante Projekte am Fraunhofer IWM sind eine Optimierung der Modellparameter bei komplexen Langzeitermüdungsversuchen, statistische Versuchsplanung bei Fügeprozessen für Vakuumisolierverglas-Systeme sowie Fehlerabschätzungen bei atomistischen Simulationen.

Dr. Melanie Senn, Dr. Tobias Kennerknecht

KORROSIONSSCHUTZBESCHICHTUNGEN FÜR SOLARTHERMIE-KRAFTWERKE

Gruppe

Funktionale Schichtmaterialien

Dr. Frank Burmeister | Telefon +49 761 5142-244 | frank.burmeister@iw.fraunhofer.de

Salzschmelzen sind aufgrund ihrer ausgezeichneten thermodynamischen Eigenschaften interessant als Speichermedien in Solarthermie-Kraftwerken, wirken jedoch unter den dort gegebenen Betriebsbedingungen stark korrosiv. Um über die Lebensdauer einer Anlage hinweg die Betriebssicherheit gewährleisten zu können, werden funktionale Komponenten wie Pumpen oder Ventile, in denen Dimensionsänderungen durch Korrosion nicht toleriert werden können, aus hochlegierten Spezialstählen gefertigt.

Metallische Multilayer-Beschichtungen

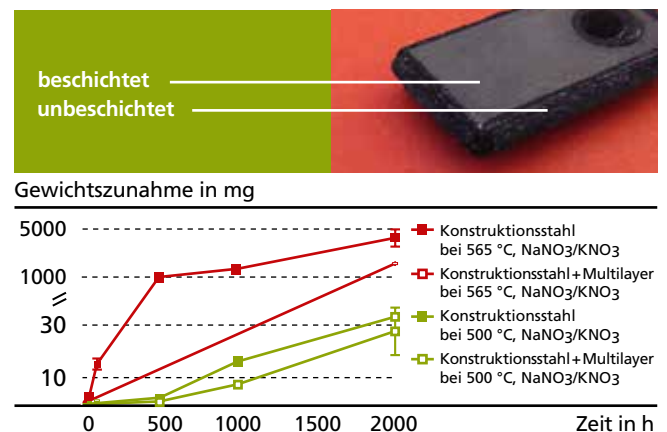
Zur Untersuchung dominanter Korrosionsprozesse und mit dem perspektivischen Ziel, sehr teure Spezialstähle durch beschichtete Konstruktionsstähle ersetzen zu können, wurden am Fraunhofer IWM metallische Multilayer-Beschichtungen erarbeitet und bezüglich ihrer Korrosionsschutzwirkung getestet. Neben statischen Auslagerungsversuchen in einer heißen Salzschmelze ($> 500\text{ °C}$) wurden auch Versuche durchgeführt, bei denen die Beschichtung durch schnelle Aufheiz- und Abkühlvorgänge extremen thermomechanischen Belastungen ausgesetzt wurde. Zur Bewertung der erreichten Schutzwirkung wurden sowohl Gewichtsänderungen durch Oxidwachstum als auch tiefenabhängig Diffusionsprofile und Elementverteilungen bestimmt.

Bessere Korrosionsbeständigkeit, besseres Mechanismenverständnis

Der Vergleich beschichteter und unbeschichteter Stahlproben verdeutlicht, dass durch maßgeschneiderte Beschichtungen die Korrosion niedriglegierter Konstruktionsstähle in Salzschmelzen um Größenordnungen verlangsamt werden kann

(Abbildung 1). Durch angepasstes Materialdesign verfügen die erarbeiteten Schichtsysteme zudem über nachgewiesene Beständigkeit gegenüber schnellen Temperaturwechseln, wie sie beim An- und Herunterfahren von Speichersystemen auftreten können. Die Ausweitung der Versuche auf verschiedene Stahllegierungen, Salzschmelzen und Betriebstemperaturen ermöglichte die Aufklärung der wesentlichen Schädigungsmechanismen. Die Ergebnisse sind eine solide Grundlage für die gezielte Auswahl geeigneter Materialien für stählerne Komponenten in Solarthermie-Kraftwerken. Die angewandten Untersuchungsmethoden können ohne größeren Aufwand auf andere Anlagentypen (wie Müllverbrennungsanlagen) übertragen werden.

Dr. Matthias Gurr



1 Verminderung von Oxidwachstum durch metallische Multilayer-Beschichtung: Gravimetrie (unten), einseitig beschichtete Probe, 10 x 30 mm, nach Auslagerung (oben).

EISEN-STÖRSTELLEN IN PHOTOVOLTAIK-SILIZIUM

Gruppe
Materialmodellierung

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

Ein bedeutender Kostenfaktor für Solarzellen-Module aus Silizium ist der Rohstoffpreis für hochreines Silizium. Im Gegensatz zu Mikroelektronik-Bauelementen genügt für Solarzellen jedoch oft das deutlich kostengünstigere sogenannte metallurgische Silizium. Allerdings enthält dieses Material viele chemische Verunreinigungen. Diese wirken sich auf atomarer Skala auf die elektronischen Eigenschaften aus und lagern sich häufig an ausgedehnten Strukturdefekten (Korngrenzen oder Versetzungen) im Materialgefüge an (Abbildung 1). Das prominenteste Beispiel für Verunreinigungen ist interstitielles Eisen. Bereits bei einer geringen Konzentration führt es zur starken Effizienzverminderung einer Solarzelle.

Simulation der Einlagerung von Eisenatomen an Silizium-Korngrenzen

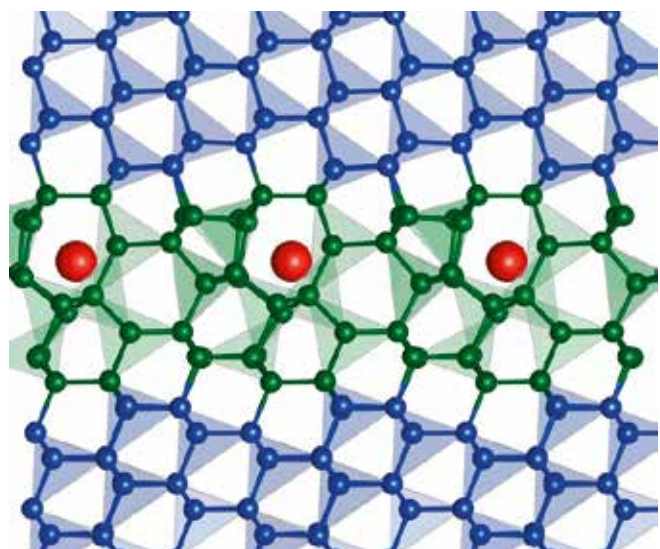
Mit Computersimulationsmethoden der Dichtefunktionaltheorie wurde die Einlagerung von Eisenatomen an verschiedenen Großwinkelkorngrenzen thermodynamisch und kinetisch untersucht. Überraschenderweise stellte sich heraus, dass sich interstitielles Eisen nur an einigen der untersuchten Großwinkelkorngrenzen einlagern lässt. Um die Mechanismen der Einlagerung und deren Auswirkungen besser zu verstehen, wurden die lokalen Anordnungen von Siliziumatomen um Eisenatome und deren lokale Elektronenstrukturen an den Korngrenzen im Detail analysiert.

Wechselwirkung zwischen Eisen-Verunreinigung und Siliziummaterialgefüge

Die Studie ist ein erster Schritt, um die Einlagerung und Ausscheidung von Eisen an ausgedehnten Strukturdefekten

im polykristallinen Siliziumgefüge grundsätzlich zu verstehen. Weitergehende Untersuchungen konzentrieren sich sowohl auf Versetzungen als auch auf Phasengrenzen zwischen Silizium-Kristalliten und Eisensilizid-Ausscheidungen. Auf dem besseren Verständnis der Wechselwirkung von Eisen und Silizium aufbauend sollen Möglichkeiten für Fertigungsschritte erkundet werden, die kostengünstig das Eisen aus dem Silizium entfernen oder zumindest darin passivieren können.

Benedikt Ziebarth, Dr. Matous Mrovec



1 Positionen (rote Kugeln) von an einer Silizium-Korngrenze eingelagerten Eisen-Atomen; die kleineren Kugeln markieren Silizium-Atome an der Korngrenze (grün) und in den zwei benachbarten Kristalliten (blau).



GESCHÄFTSFELDLEITER

Dr. Dirk Helm | Telefon +49 761 5142-158 | dirk.helm@iw.fraunhofer.de

Fokus

Mit unserem Prozessverständnis und unseren ausgereiften Simulationstechniken tragen wir zur Gestaltung von effizienten und sicheren Fertigungsprozessen bei. Unser Leistungsangebot beinhaltet die Untersuchung und technologische Entwicklung von Fertigungsprozessen zur Herstellung von Halbzeugen und Bauteilen mit funktionalen Eigenschaften. Im Vordergrund stehen pulvertechnologische Prozesse inklusive komplexer Fluidsysteme bis hin zur Mikrofluidik, das Umformen und Bearbeiten von duktilen Werkstoffen sowie Bearbeitungsverfahren für spröde Werkstoffe und die Glasformgebung.

Bemerkenswertes aus 2014

Umformtechnisch hergestellte Stecker für elektrische Kontaktierungen sind aufgrund ihrer Miniaturisierung stark thermomechanisch beansprucht. Um ihr Versagen im Bauteileinsatz zu vermeiden, entwickelten wir für die Umform- und Bauteilsimulation ein Werkstoffmodell für ausscheidungshärtbare Kupferlegierungen weiter, erprobten es im Rahmen eines Gemeinschaftsprojekts an einem Demonstrator und präsentierten die Ergebnisse auf dem Kupfersymposium 2014.

Mit Exponaten zu neuen Verfahren für das Flachglasbiegen beteiligten wir uns an der Messe Glasstec 2014 in Düsseldorf. Auf große Resonanz stieß dort zudem der verfeinerte Trennprozess von Verbundsicherheitsglas, der auch kompliziert geformte Modellschnitte sauber auftrennt. Unverändert hoch ist weiterhin das Interesse an Vakuumisolierverglas, an dem die Leistungsfähigkeit der am Fraunhofer IWM entwickelten Technologie für vakuumdichtes Fügen des Randverbunds vorgestellt wurde. Erfreulich viele Anfragen richteten sich speziell auf die Umsetzung in industrietaugliche Verfahren, denn hier sehen wir den Schwerpunkt unserer künftigen Projektaktivitäten.

In dem im Januar gestarteten EU-Projekt SimPhoNy mit elf Partnern aus fünf Ländern entwickeln wir eine gemeinsame Software-Plattform, die verschiedene alleinstehende Simulationswerkzeuge über standardisierte Schnittstellen integriert. Das Konsortium konzentriert sich auf die Beschreibung komplexer Fluide sowie mikro- und nanofluidischer Systeme, etwa Lab-on-chip-Anwendungen in der Diagnostik oder Anwendungen in Sensorik und Biochemie.

» Unser Geschäftsfeld verfügt über besondere Kompetenzen, um das Verhalten von Werkstoffen in Fertigungsprozessen inklusive der resultierenden Halbzeug- und Bauteileigenschaften vorher-sagbar zu machen. So gelingt es, die Markteinführung von Werkstoffinnovationen zu begleiten oder Prozessinnovationen zu realisieren.«

Gruppen



Pulvertechnologie, Fluiddynamik

Wir simulieren und optimieren pulvertechnologische Prozesse und fluidische Systeme mit dem Ziel einer effizienten Fertigung. Damit verbessern wir Produkte und Prozesse, verkürzen Entwicklungszeiten und helfen unseren Kunden, Kosten zu sparen.

Dr. Torsten Kraft | torsten.kraft@iwm.fraunhofer.de



Umformprozesse

Wir entwickeln und erweitern Simulationsmethoden zur effizienten Auslegung von Umformprozessen und wenden sie auf industrielle Prozesse an. Wir bestimmen die Werkstoff- und Prozessparameter mittels Experimenten sowie virtuell durch den Einsatz von Werkstoffmodellen.

Dr. Dirk Helm | dirk.helm@iwm.fraunhofer.de



Bearbeitungsverfahren, Glasformgebung

Schwerpunkte sind Bearbeitungs- und Trennverfahren für Glas, Keramik und Silizium sowie Löttechniken für Vakuumisolierverglasungen. Durch bruchmechanische Methoden entwickeln wir Lösungen zur Einsatzsicherung und Schadensvermeidung.

Dr. Rainer Kübler | rainer.kuebler@iwm.fraunhofer.de

MODELLIERUNG INNOVATIVER BLECHWERKSTOFFE AUS TWIP-STAHL

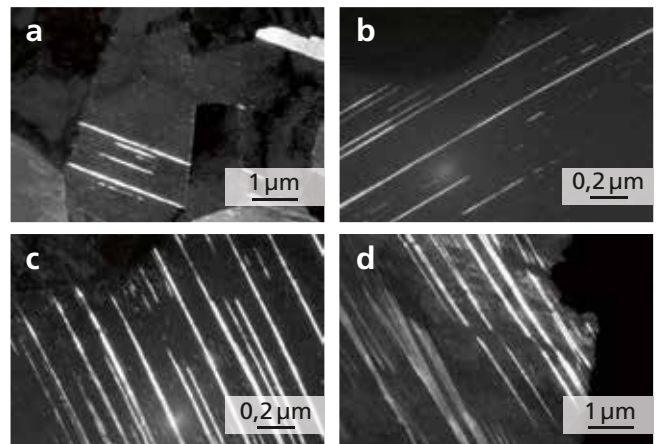
Gruppe
Umformprozesse

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

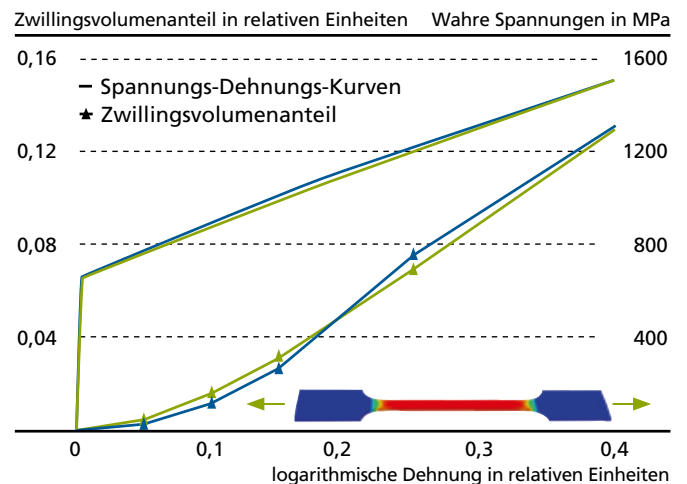
In den vergangenen Jahren stieg das Interesse an Stahlblechwerkstoffen mit hohen und höchsten Festigkeitsniveaus. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, gleichzeitig aber auch ein ausreichendes Formgebungsvermögen zu gewährleisten, wurde von der Stahlindustrie eine neue Klasse von hoch- und höchstfesten Stählen entwickelt. Diese basieren auf einem Fe-Mn-Legierungssystem und werden als TWIP-Stähle (TWinning Induced Plasticity) bezeichnet. Die neuartige Stahlklasse kombiniert die geforderten höchsten Festigkeiten mit hoher Duktilität. Zum Beispiel kann bei einer Zugfestigkeit von ungefähr 1000 MPa eine Bruchdehnung von 40 bis 50 Prozent erreicht werden. Eine Eigenschaftskombination, die bei konventionellen Stählen unerreicht ist. Daher sind TWIP-Stähle unter anderem für die Automobilindustrie sehr interessant, denn durch ihren Einsatz können Fahrzeuge sicherer und ressourceneffizienter gestaltet werden: Das Energieaufnahmevermögen von Bauteilen wird erheblich verbessert und es ist möglich, die benötigte Blechdicke zu reduzieren und somit Gewicht einzusparen.

Verformungsverhalten von TWIP-Stählen

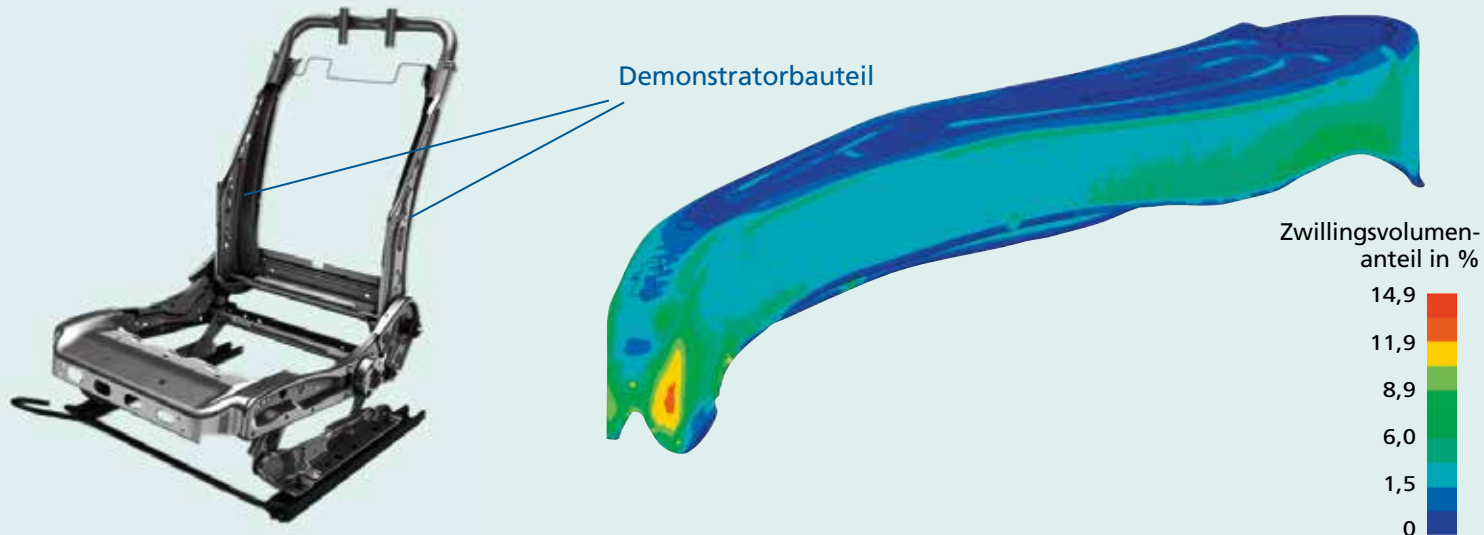
Im Hinblick auf konventionelle Stähle, bei denen die plastische Verformung durch die Wanderung von Versetzungen erfolgt, ist bei TWIP-Stählen mit der sogenannten Zwillingbildung ein weiterer Deformationsmechanismus aktiv. Dabei ändert sich in einem Korn die Orientierung des Kristallgitters innerhalb von schmalen, lamellenförmigen Bereichen. Sie weisen eine Breite von 10 bis 30 nm auf. Diese Bereiche werden als Zwillinge bezeichnet und sind in Abbildung 1 dargestellt. Durch bereits gebildete Zwillinge wird die Bewegung von Versetzungen behindert. Dies führt zu einer dynamischen Mikrostrukturverfeinerung, die für die hohe Verfestigung von TWIP-Stählen verantwortlich ist.



1 TEM-Aufnahmen der Bildung von Zwillingen in einem Korn im Zugversuch bei unterschiedlicher Dehnung: 5% (a), 10% (b), 25% (c) und 45% (d).



2 Entwicklung der Spannungen und des Zwillingsvolumenanteils bei einachsialer Zugbelastung: Simulation (grün), Experiment (blau).



*Ausgewähltes Demonstratorbauteil eines Autositzes (links).
Ergebnis der Umformsimulation: Verteilung des Zwillingsvolumenanteils
im Bauteil nach dem Umformungsprozess (rechts).*

Für den industriellen Einsatz von TWIP-Stählen sind für die simulative Prozessauslegung und Bauteilbewertung Materialmodelle erforderlich, welche die speziellen Eigenschaften dieser Werkstoffklasse berücksichtigen. Die Entwicklung eines solchen Modells ist das Ziel des von der EU geförderten Projekts »TWIP4EU«. Neben dem Fraunhofer IWM als Projektkoordinator sind fünf weitere Projektpartner beteiligt: DYNAMore GmbH, ESI GmbH, Faurecia Autositze GmbH, Swerea Kimab AB und Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH.

Werkstoffmodellierung

Aufgrund des TWIP-Effekts sind Unterschiede im makroskopischen Verhalten im Vergleich zu konventionellen Blechwerkstoffen feststellbar. Beispielsweise ist das Verfestigungsverhalten bei TWIP-Stählen abhängig vom Belastungszustand. Um das Deformationsverhalten von TWIP-Stählen möglichst genau zu beschreiben, wurde am Fraunhofer IWM ein geeignetes Werkstoffmodell entwickelt. Wesentliches Merkmal des Modells ist die physikalisch motivierte Beschreibung von mikrostrukturellen Größen, insbesondere der Entwicklung des Zwillingsvolumenanteils in Abhängigkeit von der Verformung und dem Spannungszustand. Die Entwicklung dieser mikrostrukturellen Größen wird bei der Berechnung des makroskopischen Materialverhaltens direkt berücksichtigt.

In Abbildung 2 sind am Beispiel eines Zugversuchs die mechanische Spannung und die Entwicklung des Zwillingsvolumenanteils als Funktion der logarithmischen Dehnung dargestellt. Der Vergleich mit den experimentellen Daten zeigt, dass das Modell sowohl das makroskopische Verhalten als auch die gemessenen mikrostrukturellen Größen sehr gut beschreiben kann.

Im Rahmen des Projekts wird als Demonstratorbauteil das Seitenteil einer Autositz-Rückenlehne untersucht. Dieses Bauteil besitzt einerseits eine komplexe Geometrie, die einen Werkstoff mit ausreichend hohem Umformvermögen erfordert. Andererseits handelt es sich hierbei um ein crash-relevantes Bauteil, das eine hohe Bauteilfestigkeit und ein hohes Energieaufnahmevermögen besitzen muss. Das entwickelte Materialmodell für TWIP-Stahl kann im nächsten Schritt für eine Optimierung des bestehenden Designs unter Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften von TWIP-Stahl eingesetzt werden.

Dr. Alexander Butz, Dr. Maksim Zapara

DAS RICHTIGE OPFERPLATTENMATERIAL FÜR DEN SILIZIUMSÄGEPROZESS FINDEN

Gruppe

Bearbeitungsverfahren, Glasformgebung

Dr. Rainer Kübler | Telefon +49 761 5142-213 | rainer.kübler@iwm.fraunhofer.de

Siliziumscheiben (Wafer) für Solarzellen werden zu tausenden durch Sägen von Siliziumblöcken gewonnen. Dabei wird Draht mit einem Durchmesser von 100 μm in zahlreichen Schlaufen gleichzeitig durch den Siliziumblock bewegt. Für den Sägeprozess wird der Siliziumblock an einer Seite über eine sogenannte Opferplatte mit der Maschine verbunden. Am Ende eines jeden Schnitts verlässt der Draht zunächst an den äußeren Kanten den Siliziumblock und sägt dann einige Millimeter in die Opferplatte hinein, bis das Silizium in der Mitte vollständig getrennt ist. Das Opferplattenmaterial muss, da es jedes Mal neu beschafft wird, kostengünstig sein und viele technische Anforderungen erfüllen. Es darf vor allem die Schneideigenschaften des Drahts im Silizium nicht negativ beeinflussen. Im Rahmen eines vom BMUB geförderten Verbundprojekts wurden Werkstoffe auf ihre Eignung als Opferplattenmaterial im Siliziumsägeprozess mit diamantbesetztem Sägedraht untersucht und bewertet.

Untersuchungen an der Einspaltdrahtsäge

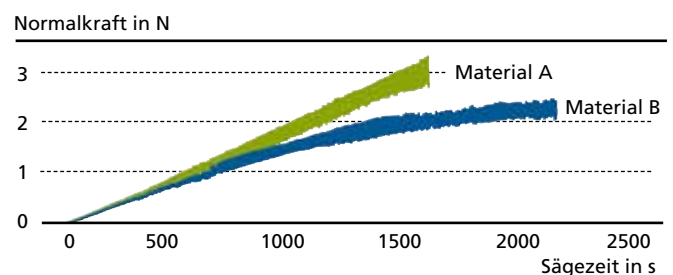
Im Labor wurde mithilfe einer instrumentierten Einspaltdrahtsäge unter vergleichbaren Bedingungen zum Industrieprozess in unterschiedliche Materialien gesägt. Dabei wurden die Prozesskräfte ermittelt: die auf den Draht wirkende Normalkraft (siehe Abbildung 1) und die Kraft in axialer Richtung. Schwer sägbares Material mit geringem Materialabtrag zeigt einen steilen linearen Kraftverlauf, während sich bei gut sägbarem Material nach einer Einlaufphase eine nahezu konstante Normalkraft einstellt. Ergänzt durch weitere Untersuchungen, wie mikroskopische Analysen an den Opferplattenmaterialien und dem Sägedraht, wurden die Materialien nach festgelegten

Kriterien klassifiziert und bewertet. Aus mehr als 15 untersuchten Materialien wurden drei Materialien eingegrenzt, die sich für den Industrieprozess eignen sollten.

Übertragung auf den Industrieprozess an der Multiwire-Drahtsäge

Dank der Untersuchungen am Fraunhofer IWM werden nur noch wenige kostspielige Testschnitte auf der industriellen Multiwire-Säge benötigt, um das am besten geeignete Opferplattenmaterial für den Sägeprozess zu finden.

Tobias Rist, Dr. Rainer Kübler



1 Normalkraftverläufe (unten) von zwei Opferplattenmaterialien bei konstantem Sägevorschub aus Untersuchungen an der Einspaltdrahtsäge, Sägelänge im Material 80 mm (oben).

SIMULATION DES SPRÜHTROCKNENS KERAMISCHER SUSPENSIONEN

Gruppe

Pulvertechnologie, Fluiddynamik

Dr. Torsten Kraft | Telefon +49 761 5142-248 | torsten.kraft@iwf.fraunhofer.de

Die Sprühtrocknung ist ein Prozess, der vielfach zur Granulierung feiner keramischer Pulver eingesetzt wird, um deren Verarbeitbarkeit zu verbessern. In der industriellen Praxis sind sowohl die Entwicklung neuer Produkte (Granulate) als auch die Prozessoptimierung stark von Versuch-und-Irrtum-Methoden geprägt. Die Simulation als Werkzeug zur Prozessoptimierung ist hingegen nur wenig verbreitet.

Am Fraunhofer IWM wurde aus diesem Grund ein Simulationsmodell erarbeitet, mit dem die Granulenenstehung auf Tropfenebene simuliert werden kann. Dieses Modell dient zum einen der Erarbeitung von grundlegendem Prozessverständnis. Zum anderen sollen industrielle Anwender künftig auch direkt von der Simulation ihrer Prozesse bereits im Entwicklungsstadium profitieren, um damit ihre Entwicklungskosten zu senken und ihre Wirtschaftlichkeit zu erhöhen.

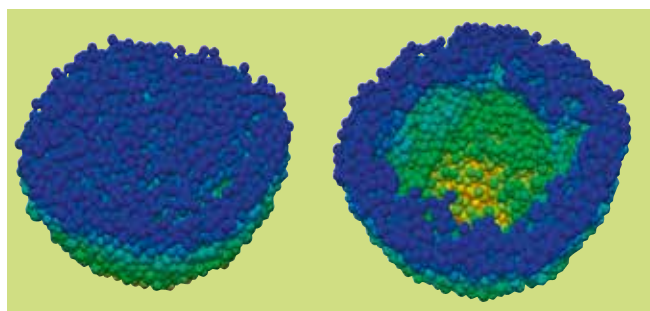
Modellierung

Zur Simulation des Trocknens einzelner Granulen wurde am Fraunhofer IWM ein gekoppeltes Simulationsmodell entwickelt, das sowohl die keramischen Feststoffpartikel als auch die Flüssigkeit und das umgebende Gas beschreibt. Während die keramischen Partikel mithilfe der partikelbasierten Diskrete-Elemente-Methode (DEM) beschrieben werden, kommt für die Flüssigkeits- und Gasströmung die gitterbasierte Volume-Of-Fluid (VOF) zum Einsatz. Auf Basis des freieströmungsmechanischen Programmpakets OpenFOAM® wurde ein neuer Solver implementiert, der beide Methoden gleichzeitig simuliert und miteinander koppelt.

Einflüsse auf Granulenmorphologie

Mithilfe des neu entwickelten Simulationstools wurden erste numerische Variationsstudien durchgeführt, in deren Rahmen verschiedene Prozess- und Suspensionsparameter systematisch untersucht wurden. So konnte unter anderem gezeigt werden, dass sowohl die Kohäsivität der keramischen Partikel als auch die auftretenden Kapillarkräfte einen entscheidenden Einfluss auf die Granulenmorphologie haben. Beide Größen stehen in Konkurrenz zueinander: Ihr Verhältnis entscheidet darüber, ob durch Umordnung der Teilchen dichte Granulen erzeugt werden können (Abbildung 1 links) oder die entstehende Schale stabil ist und es zur Entstehung häufig unerwünschter Hohlgranulen kommt (Abbildung 1 rechts).

Thomas Breinlinger



1 Morphologie sprühgetrockneter Granulen: Je nach Wahl der Prozess- und Suspensionsparameter können dichte (links), poröse oder hohle (rechts) Granulen erzeugt werden.



GESCHÄFTSFELDLEITER

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

Fokus

Das Geschäftsfeld betreibt Reibungsforschung und Verschleißforschung. Wir optimieren tribologische Systeme und entwickeln Lösungen für Reibungsminderung und Verschleißschutz durch technische Keramik, durch neuartige Schmierstoffe, tribologische Schichtsysteme sowie durch fertigungstechnisch konditionierte Tribowerkstoffe. Dazu klären wir Reibungs-, Abrieb-, Einlauf- und Verschleißmechanismen auf sowie die Tribochemie von Maschinenelementen wie Wälz- und Gleitlagern, Schneid- und Umformwerkzeugen und Motor- und Getriebeelementen. Wir nutzen dazu sowohl experimentelle Untersuchungen, Multiskalenmodellierung und numerische Simulation als auch Mikrostrukturanalyse.

» Die Ergebnisse unserer tribologischen Forschung helfen, dass Bauteile nachhaltiger gefertigt und Systeme kostensparender im Betrieb laufen können.«

Bemerkenswertes aus 2014

Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann erhielten für ihre Forschung zu neuartigen Schmierstoffen den »Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2014 – Forschung im Verbund«. In einem vom BMBF geförderten Projekt konnten sie zeigen, dass Flüssigkristalle eine neue Klasse von Schmierstoffadditiven darstellen können. Diese mesogenen Schmierstoffe zeigen extrem kleine Reibwerte und ihre Viskosität ist richtungsabhängig. Mit unserer Skitribologie beteiligten wir uns im Projekt Snowstorm an der Vorbereitung der Paralympics 2014: Wir optimierten die Skier des Teams Nordisch. Zudem stellten wir dem Athleten Martin Fleig einen neuen Wettkampfskischlitten zur Verfügung und waren so an drei Gold- und einer Silbermedaille beteiligt.

Die Forschungsarbeiten zu sechs Promotionen konnten wir erfolgreich abschließen. Die Themen reichten von Graphen-gefüllten Polymeren über Einlaufvorgänge von Stahl, atomistischer Simulation von DLC-Verschleißvorgängen, Hochtemperaturendbearbeitung bis hin zur Plasmaanalytik von chemischen Dampfabscheidungsprozessen. Das neue Prüfstandsgebäude in Karlsruhe können wir voraussichtlich im Frühjahr 2015 beziehen. Es bietet 25 Büroplätze und beherbergt hochauflösende Verschleißprüfstände auf Basis von Radionuklidtechnik. Im Sommer fand der Spatenstich zum zweiten Gebäude statt, das neben dem Materialwissenschaftlichen Zentrum für Energiesysteme MZE des Karlsruher Instituts für Technologie KIT entstehen wird. Mit den neuen Gebäuden stärken wir die Aktivitäten des MikroTribologie Centrums μ TC.

Geschäftsfeld

TRIBOLOGIE

Gruppen



Verschleißschutz, Technische Keramik

Wir prüfen, bewerten und simulieren die Wirkung von Veränderungen in tribologischen Kontakten. Forschungsschwerpunkte sind trockenlaufende und wassergeschmierte Systeme sowie ultraniedrige Reibung (Flüssigkristalle, Graphen).

Dr. Andreas Kailer | andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de



Multiskalenmodellierung und Tribosimulation

Mit skalenübergreifender numerischer Simulation beziehen wir makroskopische Materialeigenschaften auf Mechanismen der Mikroskala. Dies ermöglicht Optimierungen industrieller Materialsyntheserouten und Prozessführungen sowie des Designs von Nanomaterialien und Suspensionen.

Prof. Dr. Michael Moseler | michael.moseler@iwm.fraunhofer.de



Biomedizinische Materialien, Implantate

Wir bewerten mit Experimenten und Simulationen die Zuverlässigkeit und das Einsatzverhalten biomedizinischer Materialien und Implantate, generativ gefertigte Komponenten sowie die Tribologie von Thermoplasten, Elastomeren und Hydrogelen.

Dr. Raimund Jaeger | raimund.jaeger@iwm.fraunhofer.de



Tribologische Schichtsysteme

Wir entwickeln maßgeschneiderte PECVD-Beschichtungslösungen und -verfahren: Wir bewerten und produzieren glatte und strukturierte diamantähnliche Kohlenstoffbeschichtungen (DLC) für hohe Gleit- und Wälzbelastungen und entwickeln kristalline Diamantschichten für Sonderanwendungen.

Dr. Sven Meier | sven.meier@iwm.fraunhofer.de



Mikrotribologie

Tribologische Fragestellungen lösen wir durch Kombination von mikrostrukturellen und energetischen Ansätzen mit kontinuierlichen hochauflösenden Reibungs- und Verschleißmessungen sowie mit modernsten Methoden der Oberflächenanalytik.

Dr. Martin Dienwiebel | martin.dienwiebel@iwm.fraunhofer.de

HAFTFESTE DIAMANTBESCHICHTUNGEN FÜR HARTMETALLWERKZEUGE

Gruppe

Tribologische Schichtsysteme

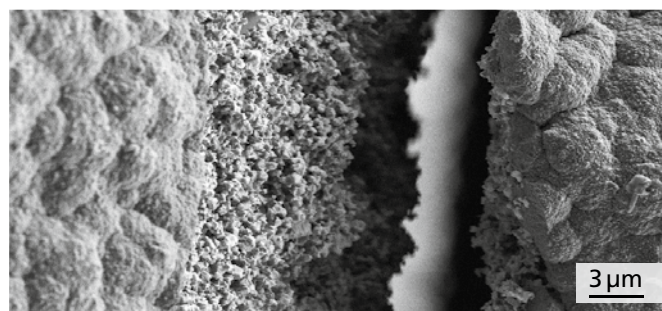
Dr. Sven Meier | Telefon +49 761 5142-233 | sven.meier@iwmm.fraunhofer.de

Dr. Bernhard Blug | Telefon +49 761 5142-180 | bernhard.blug@iwmm.fraunhofer.de

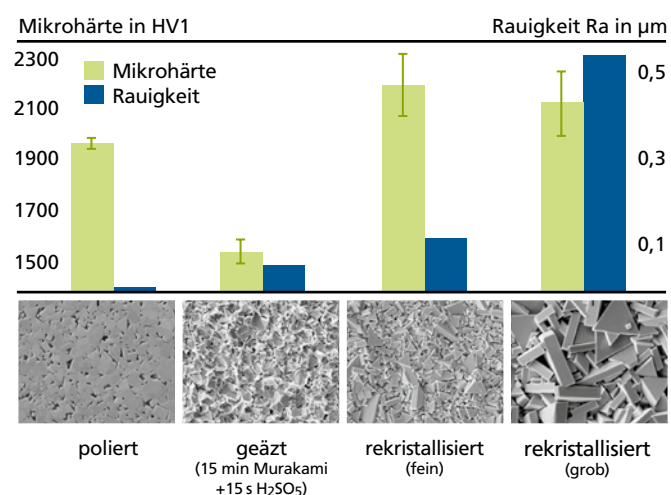
Das Werkzeug und dessen Standvermögen, also die Fähigkeit, einen bestimmten Bearbeitungsvorgang durchzustehen, ist eines der Kernelemente innerhalb der gesamten Prozesskette im Unternehmen. Innovative Technologien und die Bestrebungen, herkömmliche Werkstoffe durch Leichtbauwerkstoffe zu substituieren, stellen immer höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der verarbeitenden Werkzeuge und beeinflussen damit erheblich deren Standzeit.

Notwendigkeit einer geeigneten Vorbehandlungsmethode

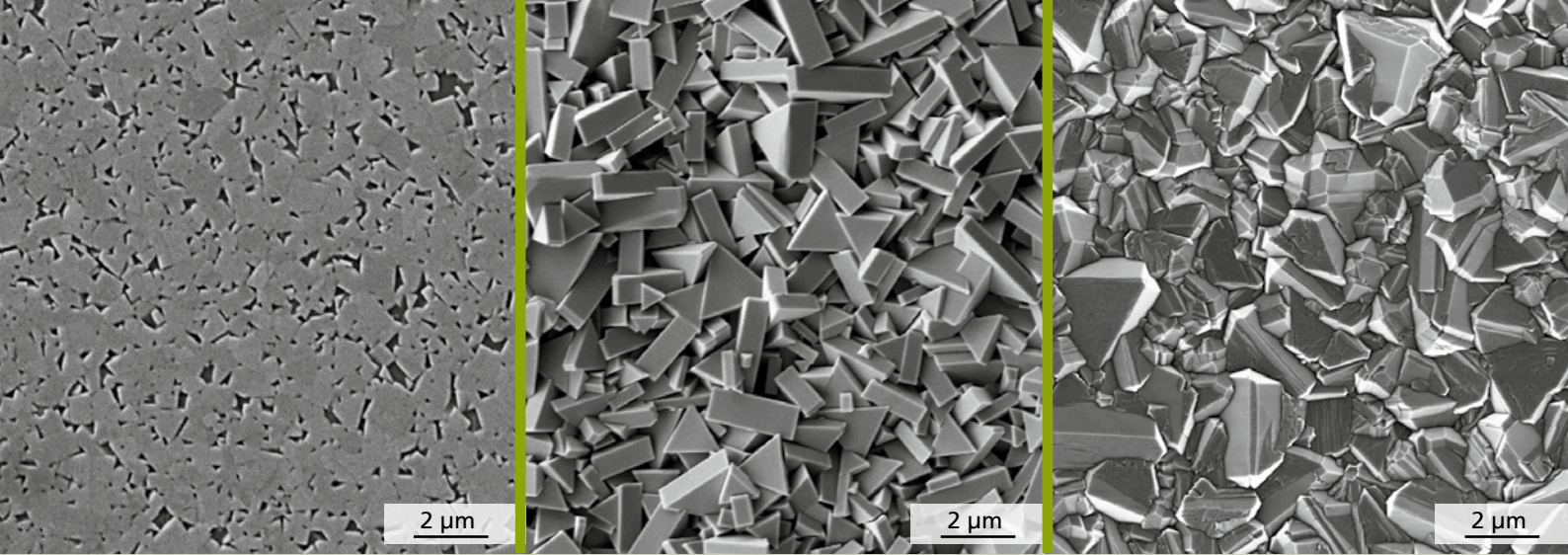
Stark abrasiv wirkende Werkstoffe, zu denen die Elektrodenwerkstoffe Hartkohle, Graphit und Kupfer zählen, aber auch der zunehmende Einsatz von Leichtbauwerkstoffen, wie zum Beispiel Aluminium-Silizium-Legierungen, Metall-Matrix-Komposite, faserverstärkte Kunststoffe, oder auch Holzwerkstoffe, stellen erhebliche Anforderungen an das Werkzeug, das durch die hochabrasive Wirkung in kürzester Zeit verschleißt und ausgetauscht werden muss. Hartmetall ist der vorherrschende Werkstoff, dessen Standzeit durch bedarfsgerechte Beschichtungen gesteigert werden kann. Diamant als Beschichtungselement besitzt diesbezüglich das größte Potenzial. Allerdings schadet der im gesinterten Hartmetall befindliche Kobaltbinder der Adhäsionswirkung des Schicht-Substrat-Verbundes erheblich. Wechselwirkungen mit dem durch chemische Gasphasenabscheidung sich bildenden Diamanten und dem Kohlenstoff aus der Gasphase begünstigen die Bildung von Graphit, das unter den gegebenen Bedingungen die thermodynamisch stabilere Kohlenstoffmodifikation ist.



1 Delaminierte Diamantschicht nach einer nasschemischen Vorbehandlung, hervorgerufen durch thermisch induzierte Eigenspannungen am Interface.



2 Bewertung der Oberflächenstabilität durch Härtemessungen (grün) sowie die Entwicklung der Oberflächenrauheit in Abhängigkeit von der Vorbehandlungsmethode (blau). Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen die jeweilige Oberflächenstruktur (unten).



Entwicklung der Oberflächenstruktur: poliert (links), nach thermochemischer Behandlung (Mitte) und nach abschließender Diamantbeschichtung (rechts).

Um einen darauf beruhenden Haftverlust zu vermeiden, sind zahlreiche Vorbehandlungsmethoden entwickelt worden. Üblich ist eine nasschemische Behandlungsmethode: Murakami-Lösung, die das Wolframcarbid angreift, bewirkt eine Aufrauung der Oberfläche und mit Peroxomonoschwefelsäure lässt sich anschließend das oberflächennahe Kobalt entfernen. Als nachteilig erweist sich bei dieser Methode die mangelnde Übertragbarkeit auf unterschiedliche Hartmetallsorten, insbesondere Hartmetalle mit feiner Körnung und hohem Kobaltgehalt bereiten Schwierigkeiten. Zudem beeinträchtigt diese Behandlungsmethode die Bruchfestigkeit des Werkzeugs und die Stabilität der Randzone. Dieser Stabilitätsverlust macht sich besonders an der Werkzeugschneide bemerkbar, da der Kobaltbinder in diesem Bereich von zwei Seiten angegriffen wird. Ein vorzeitiger Verlust der Schichthaftung durch Zerrüttung infolge dynamischer Werkzeugbelastung im unterbrochenen Schnitt ist daher sehr wahrscheinlich (Abbildung 1).

Thermochemische Vorbehandlung

Vor diesem Hintergrund wird am Fraunhofer IWM eine Vorbehandlungsmethode entwickelt, bei der eine Degradation der Randschicht vermieden werden soll. Die Umsetzung erfolgt über einen thermochemischen Prozess, der in einem mikrowellengestützten Plasma abläuft. Durch Rekristallisation und anschließendes Kornwachstum der äußersten Wolframcarbidkörner lässt sich eine maßgeschneiderte Oberfläche realisieren, die eine optimale Verklammerung von Schicht und Substrat ermöglicht. Während die nasschemische Methode Porosität erzeugt, lässt sich durch die thermochemische Behandlung das Flächenverhältnis von Korngrenzen zur gesamten Oberfläche der WC-Körner steigern. Diese führt zu

einer zusätzlichen Randschichtstabilisierung, die für die aufgebraute Diamantschicht unterstützend wirkt und anhand von Mikrohärtmessungen bewertet werden kann (Abbildung 2). Das Kobalt im Bereich der Randzone lässt sich während des Prozesses koinzident in die Gasphase überführen. Dies gewährleistet zwar noch nicht, dass das Kobalt während der Diamantbeschichtung an die Oberfläche zurück diffundiert, durch die Wahl geeigneter Prozessparameter konnte jedoch inzwischen gezeigt werden, dass sich die Mobilität des Kobalts stark reduzieren lässt und damit die Schichthaftung positiv beeinflusst werden kann.

Flexible Übertragbarkeit

Die entwickelte Methode hat gezeigt, dass sich auf diese Weise unterschiedlichste Hartmetallsorten effektiv vorbehandeln lassen und der Einsatz von Chemikalien entbehrlich ist. Die neue Methode steigert die Schichthaftung und Randzonenstabilität erheblich. Dies betrifft insbesondere Feinstkornhartmetalle, die aufgrund ihrer hohen Härte und Biegefestigkeit als Werkstoff für Bauteile vorzuziehen sind, die dynamisch beansprucht werden.

Manuel Mee

TRIBOLOGIE VON SCHNEIDKERAMIKEN BEI HOHEN GESCHWINDIGKEITEN

Gruppe

Verschleißschutz, Technische Keramik

Dr. Andreas Kailer | Telefon +49 761 5142-247 | andreas.kailer@iwf.fraunhofer.de

Schneidkeramiken werden für die Bearbeitung von schwer zerspanbaren Materialien wie Nickelbasislegierungen verwendet. Zur Weiterentwicklung der Werkstoffe und der Zerspanprozesse wurden tribologische Untersuchungen bei hohen Temperaturen an verschiedenen keramischen Werkstoffen ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ -Komposit und SiAlON-Keramik) im Kontakt mit Nickelbasislegierungen durchgeführt. Bei der Zerspanung treten im Bereich der Span- und Freifläche extreme tribologische Belastungen auf, die zu hohem Werkzeugverschleiß führen. Die Oberflächen unterschiedlicher Werkzeugmaterialien zeigen deutliche Hinweise auf tribochemische Reaktionen.

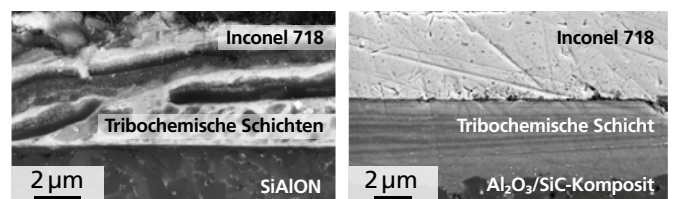
Quantitativer Verschleiß und Tribochemie

In Stift-Scheibe-Versuchen standen die Keramiken bei 1 bis 25 m/s mit Inconel 718 in Kontakt, wobei mindestens 1 000 °C erreicht werden. Das Verschleißverhalten der beiden Keramiken unterscheidet sich bei hohen Reibleistungen deutlich (Abbildung 1). Bei steigender Reibleistung durchläuft der Verschleißkoeffizient der SiAlON-Keramik ein Minimum und steigt danach wieder stark an. Im Gegensatz dazu fällt der Verschleißkoeffizient der Kompositkeramik unter gleichen Bedingungen immer weiter bis zu sehr niedrigen Werten ab. Die Verschleißproben wurden mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie und μ -Raman-Analyse untersucht. Beide Keramiken bilden eine tribochemische Schicht an der Kontaktfläche zur Inconel-Legierung: Die Kompositkeramik ist eine $\text{Cr}^{2+}\text{C}^{3-}\text{-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ -haltige Schicht, während die Schicht auf der SiAlON-Keramik eine Mischung aus Nickel-silikat, Nickelalumite, Chromoxid und TiAlN ist.

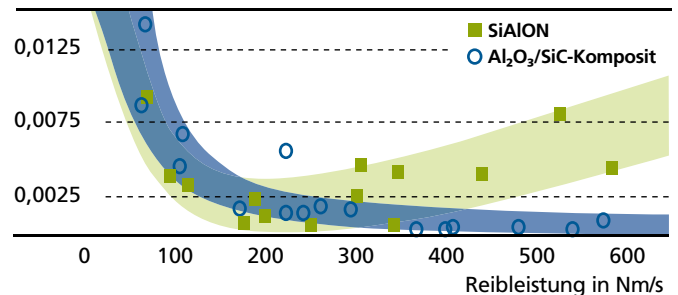
Verschleißmechanismen bei hohen Geschwindigkeiten und Temperaturen

An der Kontaktfläche der SiAlON-Keramik bauen sich tribochemische Schichten auf, die sich flächig ablösen und zu hohem Verschleiß führen. Im Gegensatz dazu zeigt die tribochemische Schicht auf der Kompositkeramik eine höhere mechanische Stabilität, wirkt verschleißreduzierend. Daraus lassen sich einerseits optimale Bearbeitungsparameter für den Einsatz der jeweiligen Schneidkeramik ableiten, andererseits dient das Ergebnis dazu, die Werkstoffeigenschaften an steigende Anforderungen bei der Zerspanung gezielt anzupassen.

Alexander Renz



Verschleißkoeffizient in mm^3/Nm



1 Querschliffe der Keramiken (oben) und Verschleißkoeffizienten in Abhängigkeit von der Reibleistung (unten).

DÜNNER GEHT ES NICHT! ULTIMATIVER VERSCHLEISSCHUTZ MIT GRAPHEN

Gruppe

Multiskalenmodellierung und Tribosimulation

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

Graphen besteht lediglich aus einer Lage von Kohlenstoffatomen und ist somit die dünnste auf Substrat herstellbare Schicht. Gleichzeitig ist es das Material mit der höchsten derzeit bekannten Zugfestigkeit. Wäre es möglich, Graphen auf eine Oberfläche aufzubringen und die Zugfestigkeit in eine erhöhte Widerstandsfähigkeit der Oberfläche gegenüber eindringenden Objekten umzusetzen, so ergäbe sich die dünnste Verschleißschutzschicht. Um sie praktisch nutzbar zu machen, ist ein detailliertes Verständnis der bei der Reibung auftretenden Prozesse und ihrer Beeinflussung durch eine Graphenschicht nötig. Da die Reibungsprozesse auf atomaren Größenskalen ablaufen, sind sie für eine direkte Beobachtung im Experiment nur schwer zugänglich. Sie werden daher am Fraunhofer IWM in atomistischen Simulationen untersucht.

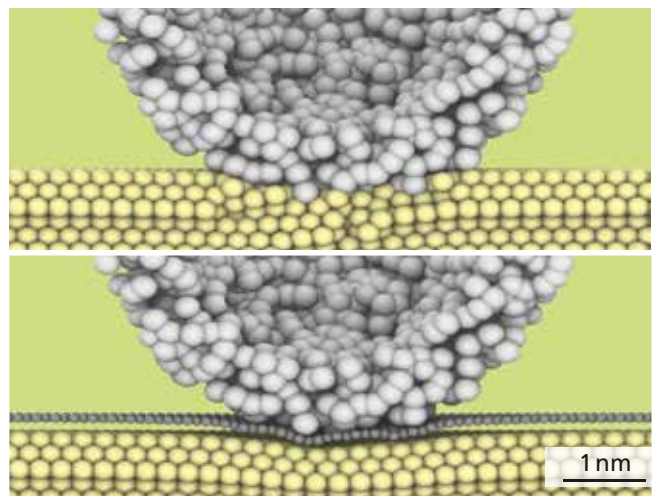
Nanoindentation von graphenbedeckten Platinoberflächen

Als Beispiel für weiche, zu beschichtende Materialien wurden einkristalline Platin (111)-Oberflächen verwendet. Um die mechanischen Belastungen zu modellieren, wurden Indentationsprozesse genutzt. Die Simulationen zeigten deutlich, dass die Bedeckung der Oberflächen mit Graphen die Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber mechanischen Belastungen deutlich verbessert. Die Kräfte, bei denen erste plastische Verformungen des Platins auftreten, sind im Vergleich mit den unbedeckten Oberflächen spürbar erhöht. Abbildung 1 zeigt beispielhaft eine Gegenüberstellung einer graphenbedeckten und einer unbedeckten Oberfläche bei identischer Normalkraft auf den Indenter (130 nN). Die bedeckte Oberfläche wird durch das Graphen noch geschützt, während sich das Material mit

unbedeckter Oberfläche bereits plastisch verformt hat. Auch nachdem der Punkt erreicht ist, an dem sich das Substrat unter der Graphenschicht plastisch verformt, sind deutlich höhere Kräfte nötig, um die Indenter in das Material zu drücken, als bei unbeschichtetem Platin.

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen bereits vielversprechende Übereinstimmungen mit experimentellen Daten. Sie werden derzeit im Detail von experimentell arbeitenden Partnern des Leibniz-Instituts für neue Materialien überprüft.

Andreas Klemenz, Dr. Lars Pastewka



1 Indentation einer Platinoberfläche ohne (oben) und mit (unten) Graphenbedeckung. Graphen verhindert über einen weiten Bereich die plastische Deformation des Platins.

VERHALTENSÄNDERUNG BEI POLYAMID- GLEITLAGERN

Gruppe

Biomedizinische Materialien und Implantate

Dr. Raimund Jaeger | Telefon +49 761 5142-284 | raimund.jaeger@iw.fraunhofer.de

Die industrielle Nutzung von Thermoplasten ist aus dem Fahrzeug- und Maschinenbau nicht wegzudenken: Diese Materialklasse ist einfach zu formen und zu bearbeiten und hat ein geringes Gewicht. Das Herstellungsverfahren beeinflusst die semikristalline innere Struktur des Werkstoffs und stellt so die mechanischen Eigenschaften des Bauteils ein. Zudem ändert sich der kristalline Anteil auch während der Nutzung durch tribomechanische Belastung oder durch eine Wasseraufnahme, auch aus der Umgebungsluft. PA46 kann beispielsweise um rund 10 Volumenprozent quellen. Hierbei halbieren sich die Steifigkeit und die plastische Fließgrenze. Über das Compoundieren mit Füllstoffen lassen sich Reib- und Verschleißwerte reduzieren, indem die Elastizität und die Scherfestigkeit, aber auch die Quelleigenschaft des Thermoplasten verändert werden. Anwender, Compoundeure und Anbieter von Zuschlagsstoffen lassen das komplexe Verhalten der beschriebenen Interaktion am Fraunhofer IWM untersuchen und Veränderungen am Polymer und dem Gegenpartner analysieren.

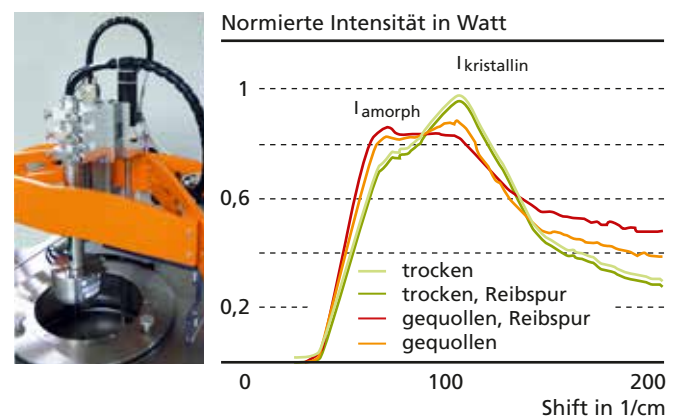
Adhäsive Reibung der Polyamide

Überwiegend für polierte, ungeschmierte Kontakte oder für Polymere mit sehr niedriger Steifigkeit trägt die adhäsive Reibung über Van-der-Waals-Kräfte deutlich zum Reib- und Verschleißverhalten bei. Die Beweglichkeit des Polymers an der Oberfläche – insbesondere die amorphe Phase – erzeugt eine effektive Anpassung an den Reibpartner und in Folge hohe adhäsive Scherkräfte. Eine zunehmende Reibung wurde bei einer abnehmenden Kristallinität gemessen.

Reibung der Polyamide mit rauen Partnern

Für raue, geschmierte Partner dominiert die plastische Deformation das Reib- und Verschleißverhalten. Niedrige Werte für Reibung und Verschleiß werden daher für einen Polymercompound mit geringer Steifigkeit bei hoher plastischer Fließgrenze erwartet. Durch Füllstoffe wie Zeolithe und Schichtsilikate konnte eine erhöhte Wasseraufnahme erreicht werden. Damit ist es möglich, erhöhte Reibung (bei niedriger Feuchte) oder geringere Reibung (bei hoher Feuchte) gezielt einzustellen. Das Fraunhofer IWM charakterisiert diese Veränderungen und kann somit helfen, die Reibung einer Anwendung gezielt einzustellen.

Dr. Christof Koplín, Dr. Raimund Jaeger



1 Über die Ramanspektroskopie sind durch Zuordnung der spezifischen Intensitätsmaxima I (rechts) die Veränderungen der Kristallinität ermittelt worden, die bei Polyamiden durch Reibbelastung im Tribometer (links) gegen Glas und ihre Quellung entstehen.

MIKROSTRUKTUR-CHARAKTERISIERUNG REIBUNGSBELASTETER EISENOBERFLÄCHEN

Gruppe
Mikrotribologie

Dr. Martin Dienwiebel | Telefon +49 721 4640-751 | martin.dienwiebel@iwf.fraunhofer.de

Die Mikrostrukturänderungen duktiler Materialien haben entscheidenden Einfluss auf die Reibung und den Verschleiß während Relativbewegungen. Sie sind damit wichtig für die Lebensdauer von Bauteilen. Mangels in situ-Messmethoden können die Entwicklung von Korngrößen und die Vorgänge während der stattfindenden plastischen Verformung während der Bewegung nicht geklärt werden. Somit bleiben die Fragen offen, wie sich die Mikrostruktur unter Scherbelastung initial einstellt und zeitlich ändert. Am Beispiel von reinem kubisch-raumzentrierten Eisen sollen hier die initiale Kornverfeinerung und die zeitliche Entwicklung der Korngrößen betrachtet werden.

Vorgehensweise

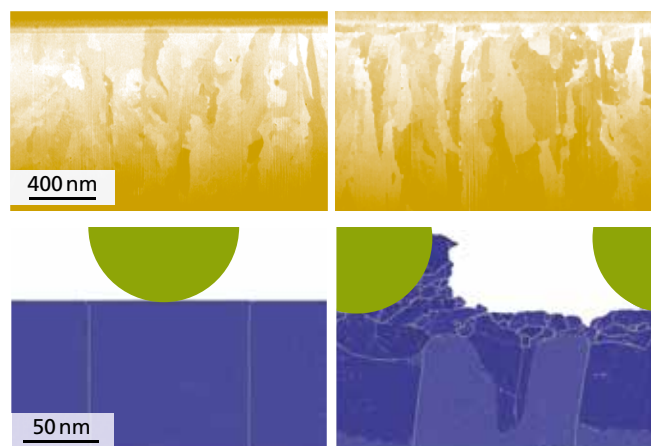
Mit einer Kombination gut definierter Experimente und Molekulardynamiksimulationen wurde der Mechanismus der initialen Kornverfeinerung untersucht. In den Simulationen wurde dazu ein steifer, kugelförmiger, inerte Körper in ein bikristallines Eisensubstrat eingedrückt und mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s geschert. Dazu wurden vergleichbare Versuche mit einem am Fraunhofer IWM entwickelten Mikrotribometer unter Ultrahochvakuum-Bedingungen durchgeführt und die Mikrostruktur mittels fokussierter Ionenstrahltechnik charakterisiert.

Randzone mit feinen Körnern

Das Reibungsexperiment zeigt überraschenderweise, dass sich bereits nach dem ersten Zyklus eine Randzone aus verfeinerten Körnern mit Durchmessern von < 50 nm ausgebildet hat. Weder die Korngröße noch die Tiefe der Randzone ändern sich nach bis zu 1000 Zyklen. Die genaue Korngrößenbestimmung wurde dabei mithilfe der Transmissionmikroskopie

durchgeführt. Auch die Reibkraft änderte sich nur während des ersten Durchlaufs und blieb dann im Folgenden konstant. In den Simulationen zeigte sich das gleiche Verhalten (Abbildung 1): Zahlreiche Versetzungen und Stapelfehler ordnen sich während des ersten Durchlaufs zu Kleinwinkelkorngrenzen und unter weiterer Scherung zu Großwinkelkorngrenzen an. Sie dienen als weitere Wachstumskerne für Gitterdefekte und Rekristallisationsvorgänge. Die Rekristallisation und die Kornverfeinerungsvorgänge sind dabei bereits nach dem ersten Durchlauf im Gleichgewicht. Dies ist in guter Übereinstimmung zur experimentellen Beobachtung.

Angelika Brink, Dr. Pedro Romero



1 SEM-Aufnahmen von FIB-Schnitten (oben) im initialen Zustand (links) und unter Scherbelastung im Ultrahochvakuum nach 1 Zyklus (rechts), Hertzische Pressung = 1 GPa, $v = 10 \mu\text{m/s}$; Molekulardynamiksimulationen (unten) im initialen (links) und gescherten (rechts) Zustand.



GESCHÄFTSFELDLEITER

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

Fokus

Die Bewertung der Sicherheit und der Gebrauchseignung von Bauteilen sowie die Qualifizierung neuer Leichtbauwerkstoffe stehen im Mittelpunkt unseres Aufgabenspektrums. Die Palette der Leichtbauwerkstoffe reicht von hochfesten Stählen über Aluminiumlegierungen bis zu Verbundwerkstoffen und Thermoplasten. Für moderne Hybridbauweisen sind Werkstoffverbunde und Fügeverbindungen von zunehmender Bedeutung. Die Anwendungen umfassen Crashnachweise von Fahrzeugkomponenten, Ermüdungsnachweise von Komponenten aus dem Fahrzeug- und dem Anlagen- und Maschinenbau sowie Sicherheitsnachweise hoch beanspruchter Bauteile, beispielsweise in der Energietechnik und der Raumfahrt. Zur Lösung der spezifischen Aufgaben setzen wir experimentelle Methoden in Verbindung mit rechnerischer Simulation und maßgeschneiderten Werkstoffmodellen ein.

»Leichtbau und Hybridbauweisen mit modernen Werkstoffen und hohe Sicherheitsanforderungen sind wesentliche künftige Herausforderungen. Die experimentelle und rechnerische Bewertung solcher Komponenten ist unsere Aufgabe.«

Bemerkenswertes aus 2014

Das Jahr war geprägt durch die Umstrukturierung der Geschäftsfelder, bei der unser neues Geschäftsfeld »Bauteilsicherheit und Leichtbau« durch die Gruppe »Verbundwerkstoffe« ergänzt wurde. Damit können alle modernen Leichtbauwerkstoffe und ihre industriellen Anwendungen im Geschäftsfeld behandelt werden. Der Trend zum Leichtbau ist getrieben durch die Reduzierung von Gewicht und Energieverbrauch, den effizienten Einsatz von Ressourcen sowie eine gleichzeitig hohe Sicherheit und Funktionalität. Leichtbauweisen und hoher Ausnutzungsgrad von Werkstoffen und Konstruktionen erfordern ein vertieftes Verständnis der Werkstoffeigenschaften unter betriebsrelevanter Belastung bis zum Versagen, zum Beispiel unter Crashbelastung. Wir setzen verstärkt Simulationstechniken ein, mit denen Werkstoff- und Verformungseigenschaften von der Herstellung bis zum Versagen rechnerisch simuliert werden können. Bei faserverstärkten Kunststoffen können wir auf diese Weise anisotrope Werkstoffeigenschaften abhängig vom Fasergehalt und der Orientierung berechnen und für die Festigkeits- und Lebensdauerbewertung nutzen. Ebenso qualifizieren wir den Einfluss von Eigenspannungen, Gefügeveränderungen oder Vorschädigungen bei Fügeprozessen auf das Ermüdungs- und Festigkeitsverhalten von Werkstoffen.

BAUTEILSICHERHEIT UND LEICHTBAU

Gruppen



Ermüdungsverhalten, Bruchmechanik

Mit experimentellen und numerischen Methoden weisen wir die Strukturintegrität metallischer Bauteile und Schweißkonstruktionen unter statischer und zyklischer Belastung nach. Wir ermitteln Werkstoffkennwerte, validieren Modelle über Bauteilversuche und analysieren Schadensfälle.
Dr. Michael Luke | michael.luke@iwf.fraunhofer.de



Crashsicherheit, Schädigungsmechanik

Für die Crashsimulation entwickeln und implementieren wir Werkstoff- und Versagensmodelle und überprüfen Modelle mit Werkstoffcharakterisierungen und Bauteilprüfungen. Bei Komponentensimulationen berücksichtigen wir Fertigungsprozess-Einflüsse auf das Materialverhalten.
Dr. Dong-Zhi Sun | dong-zhi.sun@iwf.fraunhofer.de



Crashdynamik

Für CAE-unterstützte Entwicklung, insbesondere für Crashsicherheit und Leichtbau, bestimmen wir den Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit auf dehnratenabhängiges Verformungs- und Versagensverhalten mit innovativen Hochgeschwindigkeits-Messverfahren.
Dr. Wolfgang Böhme | wolfgang.boehme@iwf.fraunhofer.de



Fügeverbindungen

Wir charakterisieren die mechanischen Eigenschaften von Fügeverbindungen und bewerten ihr Verformungs- und Versagensverhalten zur Ersatzmodellierung für die Crashsimulation. Mit der rechnerischen Schweißsimulation sagen wir Verzug und Eigenspannungen voraus.
Dr. Silke Sommer | silke.sommer@iwf.fraunhofer.de



Verbundwerkstoffe

Wir charakterisieren und modellieren das Einsatz- und Versagensverhalten von Verbundwerkstoffen. Unsere Prüfkonzepte berücksichtigen die Mikrostruktur und die Belastung. Auf numerischem Weg simulieren wir das Verhalten von Materialien und Bauteilen.
Dr. Jörg Hohe | joerg.hohe@iwf.fraunhofer.de

PROBABILISTISCHE FEHLERBEWERTUNG

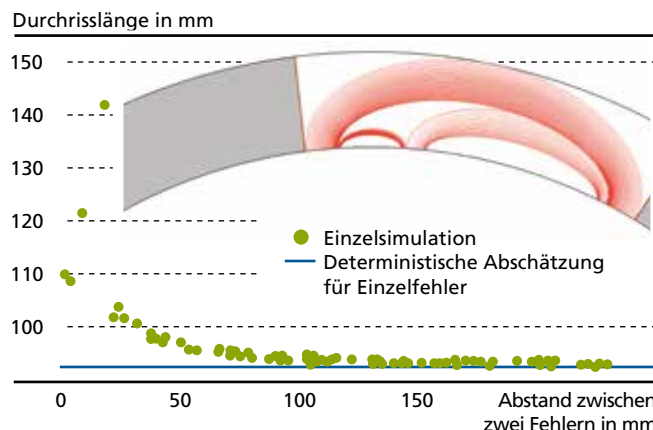
Gruppe

Ermüdungsverhalten, Bruchmechanik

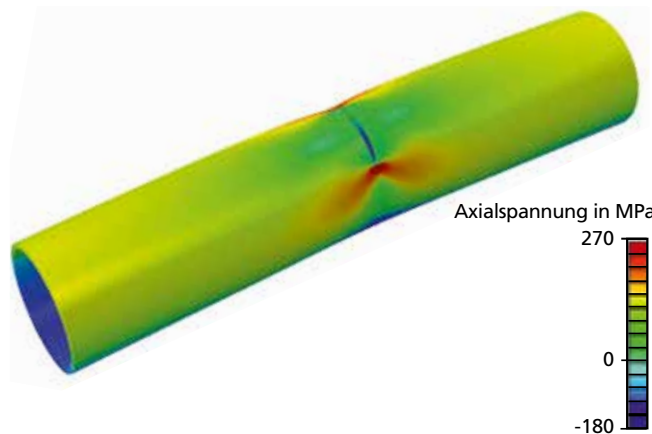
Dr. Michael Luke | Telefon +49 761 5142-338 | michael.luke@iw.fraunhofer.de

Bruchmechanische Methoden werden zunehmend für die fehlertolerante Auslegung und den Festigkeitsnachweis sicherheitsrelevanter Bauteile von Kraftwerken, chemischen Anlagen, Luft- und Raumfahrtkomponenten, Schienenfahrzeugen oder Schweißkonstruktionen eingesetzt. Die hierzu verwendeten Eingangsdaten bezüglich der Werkstoffkennwerte, Beanspruchung sowie Fehlergeometrie weisen häufig starke Streuungen auf, sodass der bruchmechanische Nachweis in der Regel mit abdeckenden konservativen Annahmen erfolgt. Dies führt in der Praxis zur Überdimensionierung von Bauteilen, dem Einsatz teurer Werkstoffe und hohen Entwicklungs- sowie Inspektionskosten.

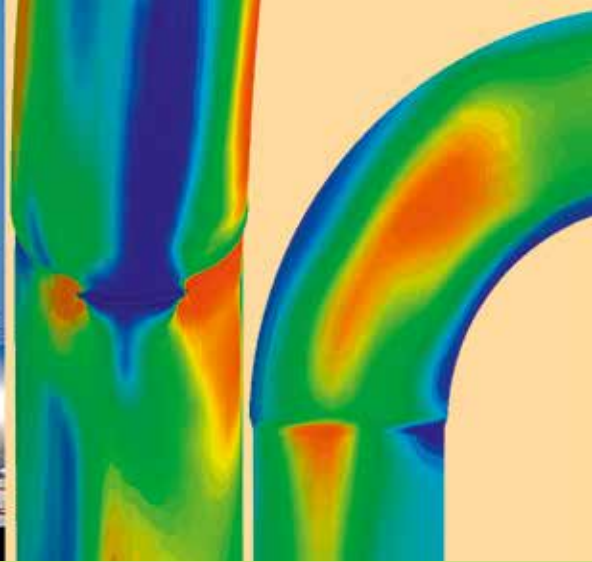
Probabilistische Bewertungsmethoden berücksichtigen die Streuung von Eingangsdaten beziehungsweise Häufigkeiten einzelner Ereignisse, die die Lebensdauer sowie das Versagensverhalten eines Bauteils beeinflussen. Auf dieser Basis können die Versagenswahrscheinlichkeit sowie die Lebensdauerverteilung für ein Bauteil mit rissartigen Fehlern ermittelt werden, die in die Risikobewertung oder in die Herleitung von Betriebsmaßnahmen einbezogen werden können. In zwei vom BMWi geförderten Vorhaben wurden am Fraunhofer IWM methodische Grundlagen für die probabilistische Fehlerbewertung von druckführenden Komponenten weiterentwickelt, die insbesondere für die Ermittlung von extrem kleinen Versagenswahrscheinlichkeiten geeignet sind. Des Weiteren wurden spezifische Lösungsansätze für eine realistische Beschreibung des Versagensverhaltens von Rohrleitungen mit Oberflächen- sowie Durchrissen hergeleitet.



1 Monte-Carlo-Simulation zum Entstehen eines Durchrisses beim Zusammenwachsen zweier Oberflächenfehler; Einzelsimulation mit der Darstellung der Risskonturen zu verschiedenen Zeiten (oben).



2 Simulation des plastischen Grenzzustandes sowie der Rissöffnung für ein Rohr mit azimuthalem Durchriss.



Bruchmechanische Integritätsbewertung von Rohrleitungen und Druckbehältern.

Bewertungskonzept

Das analytische Berechnungskonzept auf der Basis des Versagensbewertungsdiagramms (FAD) ermöglicht eine elastisch-plastische Bewertung von Bauteilen mit Rissen. Die Einbindung des FAD in eine probabilistische Bewertungskette stellt besondere Anforderungen an die Genauigkeit der entsprechenden Lösungen für Spannungsintensitätsfaktoren sowie plastische Grenzlaster dar. Das am Fraunhofer IWM entwickelte Programm VERB greift auf validierte bruchmechanische Lösungen für zahlreiche Bauteil- und Rissmodelle zurück. Um auch komplexe Risskonfigurationen genau berechnen zu können, wurden am Fraunhofer IWM spezifische Lösungen, zum Beispiel für Rohre mit Durchrissen sowie für zwei benachbarte Oberflächenrisse, entwickelt.

Wahrscheinlichkeitsberechnungen

In vielen Anwendungen erfolgen Versagenswahrscheinlichkeitsberechnungen mit der Monte-Carlo-Simulation (MCS). Bei der Bewertung von sicherheitsrelevanten Komponenten mit geforderten Versagenswahrscheinlichkeiten von 10^{-6} bis 10^{-12} kommen effizientere Berechnungsalgorithmen wie FORM, SORM beziehungsweise verschiedene Sampling-Verfahren zum Einsatz. Die entsprechenden Methoden wurden weiterentwickelt und an die Anwendung im Rahmen des FAD-Konzepts sowie für Leck-vor-Bruch-Nachweise angepasst. Schwerpunktmäßig wurden dabei die Entstehung von Durchrissen ausgehend von Einzel- beziehungsweise Mehrfachfehlern, die Bewertung stabiler Risserweiterung, die Ermittlungen von Rissöffnungsflächen sowie Leckraten betrachtet.

Abbildung 1 zeigt Ergebnisse einer probabilistischen MCS zur Ermittlung der Durchrisslänge infolge des zyklischen Wachstums zweier benachbarter Oberflächenrisse. Dabei wurden die Anfangsgrößen sowie der Abstand zwischen den beiden Fehlern als Verteilungsfunktionen, basierend auf vorliegenden experimentellen Ergebnissen, angenommen. Auf diese Weise kann berechnet werden, ob und wie sich benachbarte Fehler auf die Versagenswahrscheinlichkeit auswirken.

Bewertungssoftware VERB

Die neu entwickelten Lösungen sowie Berechnungsalgorithmen für probabilistische bruchmechanische Analysen stehen in der aktuellen VERB-Version zur Verfügung. Als Beispiel zeigt Abbildung 2 Ergebnisse einer numerischen Simulation zur Bestimmung des plastischen Grenzzustands sowie der Rissöffnung eines azimutalen Durchrisses in einem Rohr, die in der Validierung von in VERB verwendeten analytischen Lösungen herangezogen wurden. Die entwickelten Lösungsansätze ermöglichen zum einen eine quantitative Beschreibung des Rissverhaltens in Abhängigkeit von der Streuung einzelner Eingangsgrößen. Zum anderen kann die erweiterte Softwareversion bei der Lösung komplexer bruchmechanischer Probleme breiter angewandt werden.

Dr. Igor Varfolomeev, Denys Ivanov

SCHÄDIGUNGSMODELLIERUNG VON LANGFASERVERSTÄRKTEN THERMOPLASTEN

Gruppe
Crashsicherheit, Schädigungsmechanik

Dr. Dong-Zhi Sun | Telefon +49 761 5142-193 | dong-zhi.sun@iwmm.fraunhofer.de

Für die Crashesimulation von langfaserverstärkten Thermoplasten (LFT) sind die Charakterisierung und Modellierung der mechanischen Eigenschaften, einschließlich Versagen, von zentraler Bedeutung. Um eine Schädigung auf makroskopischer Ebene beschreiben zu können, ist es grundlegend wichtig, ein Verständnis der mikromechanischen Mechanismen an der Grenzschicht zwischen den zwei Werkstoffkomponenten, Faser (Glas) und Matrix (Polypropylen), zu erlangen. Der komplexe Vorgang des Grenzschichtversagens hat einen großen Einfluss auf das Bruchverhalten und bestimmt damit die Energieaufnahme der Komponenten im Crashlastfall.

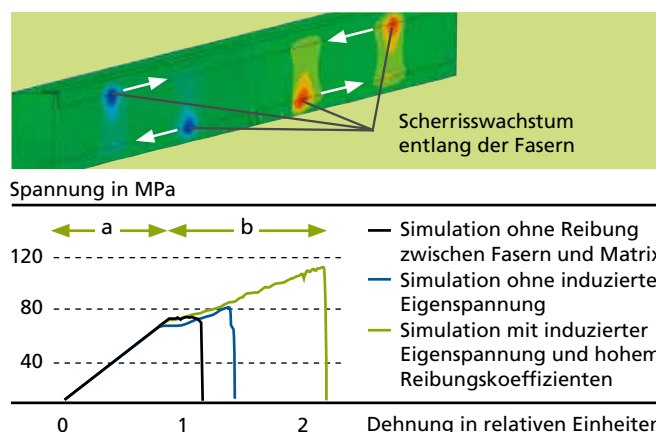
Mikroskopische Modellierung zur Ableitung eines makroskopischen Modells

Zur Reduzierung des Rechenaufwands der mikrostrukturellen Berechnungen wurden bestimmte Faserkonstellationen mit einzelnen Fasern ausgewählt. Unter Verwendung einer Kohäsivzonenformulierung konnte ein lokales Schädigungsverhalten in der Grenzschicht berechnet werden. Dieses Grenzschichtversagen zeigt Abbildung 1 am Beispiel einer Faserkonstellation. Es stellte sich heraus, dass nur unter Berücksichtigung von induzierten Eigenspannungen in der Matrix und einem hohen Reibungskoeffizienten zwischen Faser und Matrix eine korrekte Schädigungsentwicklung simuliert werden kann.

Diese Erkenntnis über die lokale Schädigungsentwicklung und die Auswirkung auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten fließt in das makroskopische Materialmodell ein. Das makroskopische Modell beruht auf analytischen Homogenisierungsmethoden: Dabei werden in einem ersten Schritt die unidirektio-

nalen Eigenschaften des Werkstoffverbunds mit einer transversalisotropen Steifigkeitsmatrix approximiert. Mittels empirischer Ansätze kann die Schädigungsentwicklung, die aus der Mikrostrukturechnung gewonnen wurde, implementiert werden. In einem zweiten Schritt werden mit einer Faserorientierungsverteilung die effektiven Steifigkeiten berechnet. Zur Kalibrierung des makroskopischen Modells werden Zug-, Scherzug-, Biege- und Durchstoßversuche bei unterschiedlichen Dehnraten durchgeführt und simuliert. Somit kann das neue Modell den Schädigungsverlauf und damit das Verhalten von der Schädigungsinitiierung bis zum Versagen adäquat beschreiben.

Lukas Schulenberg



1 Einflussparameter des Schädigungsverhaltens von LFT; a: elastischer Bereich, b: Bereich mit Risswachstum in der Grenzschicht. Simulation (oben) mit maximalen Scherspannungen (rot/blau).

CRASHVERHALTEN VON LEICHTBAUSTÄHLEN BEI KOMPLEXEN BELASTUNGEN

Gruppe
Crashdynamik

Dr. Wolfgang Böhme | Telefon +49 761 5142-191 | wolfgang.boehme@iw.fraunhofer.de

Crashsimulationen von Leichtbau-Konstruktionen im Automobilbau benötigen experimentell bestimmte Kennwerte und -kurven, die das Werkstoffverhalten bei hohen Dehnraten möglichst genau bis zum Bruch wiedergeben. Da besonders in den hochbeanspruchten Zonen komplexe Spannungszustände vorliegen, sind diese Werkstoffkennwerte auch für mehrachsige Beanspruchungszustände erforderlich, von Scherung über einachsige bis hin zu biaxialer Zugbeanspruchung. Hierzu wurden im Rahmen eines von FAT e.V., FOSTA e.V. und AVIF e.V. geförderten Projekts neue Versuchs- und Messtechniken eingesetzt und die vorliegende experimentelle Datenbasis erheblich erweitert, insbesondere durch Ergebnisse von crashartigen Scher- und Biaxialversuchen.

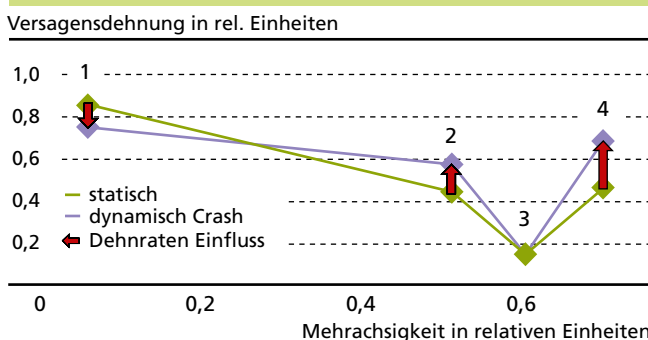
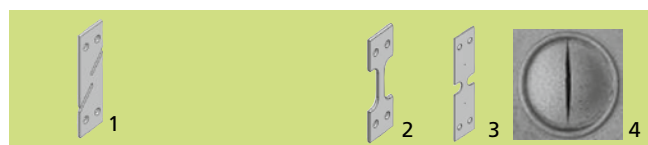
Datenbasis mit neuen Versuchstechniken erweitert

Für Leichtbaustähle verschiedener Festigkeitsklassen wurden Hochgeschwindigkeitsversuche mit Flachzug-, Schrägkerbscherzug-, Kerbzug- und Nakajimaproben durchgeführt. Die Verformung im Prüfteil wurde mit modernsten Hochgeschwindigkeits-Videokameras aufgezeichnet, für Nakajimaversuche mit 3D-Videoaufnahmen. Mit dem optischen Verfahren der Grauwertkorrelationsanalyse wurden lokale Dehnungen bis zum Versagensbeginn ausgewertet. Hochgeschwindigkeits-Infrarotmessungen dienten zur Dokumentation der bei Crashbelastungen in den hochverformten Zonen auftretenden adiabatischen Temperaturerhöhungen von bis zu 200 K. Der genaue Versagensort und der Versagensmodus (Scher-/Zugbruch) wurden durch Videoanalyse und Fraktografie bestimmt. Die am Versagensort gemessenen maximalen Dehnungen unmittelbar vor dem Bruch wurden in Abhängigkeit von der

mit FE berechneten Spannungsmehrachsigkeit sowohl für statische als auch für crashartige Belastungen als Versagenskurve aufgetragen, beispielsweise für einen DP1000 (Abbildung 1).

Beide Versagenskurven zeigen ein nahezu übereinstimmendes Minimum im Kerbzugbereich. Im Bereich ein- und zweiachsiger Zugbelastung liegt die statische Versagenskurve niedriger. Im Scherbereich führt dagegen die crashartige Belastung zu niedrigeren Versagensdehnungen, die in Crashsimulationen deshalb besonders zu berücksichtigen sind.

Silke Klitschke, Dr. Wolfgang Böhme



1 Mit lokalen optischen Dehnungsmessungen bestimmte Versagenskurven für einen Dualphasenstahl DP1000 bei statischer und dynamisch-crashartiger Belastung.

BRUCHVERHALTEN VON PUNKTSCHWEISS-VERBINDUNGEN IN HOCHFESTEN STÄHLEN

Gruppe
Fügeverbindungen

Dr. Silke Sommer | Telefon +49 761 5142-266 | silke.sommer@iw.fraunhofer.de

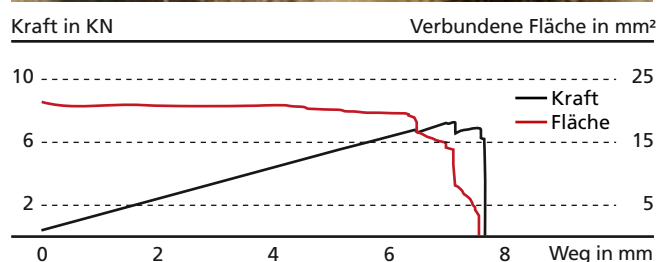
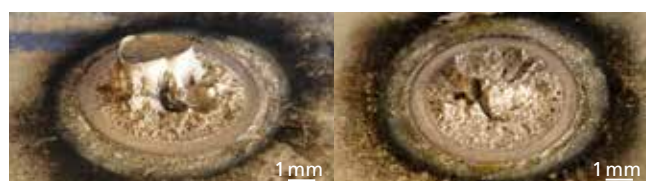
Das Widerstandspunktschweißen ist aufgrund des hohen Automatisierungsgrads, der Prozesssicherheit und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit das dominierende Fügeverfahren im stahlbasierten Karosseriebau. Neben den mechanischen Eigenschaften der eingesetzten Stahlbleche spielen hinsichtlich der Crashesicherheit insbesondere auch deren Verbindungseigenschaften eine zentrale Rolle. Als qualitatives Kriterium optimaler Verbindungsfestigkeiten gilt das Auftreten von Ausknöpfrüchen, da dies mit großen plastischen Deformationen und hoher Energieabsorption der gefügten Bauteile im Überlastfall gleichgesetzt wird. Punktschweißverbindungen in konventionellen Tiefziehstählen versagen zumeist auch so, wohingegen in hochfesten Stahlgüten unter Normalbelastung Fügeebenenbrüche und auch Mischbrüche mit komplexen Risspfaden (Abbildung 1 oben) auftreten. Diese resultieren in relativ niedrigen Kopfzugtragfähigkeiten, verglichen mit den hohen Festigkeiten der Bleche. Die dabei auftretenden Bruchmechanismen, ihre Entwicklung während der Beanspruchung und die Haupteinflussfaktoren sind Ziel der aktuellen Forschung.

Rissfortschrittmessungen an Schweißpunkten

Zur Untersuchung der Rissinitiierung und des Risswachstums unter Normalbeanspruchung wurde ein Versuchsaufbau unter Einsatz der Wechselstrom-Potenzialsonde entwickelt. Neben den Kraft-Wegkurven wird das elektrische Potenzial zwischen den Potenzialabgriffen am Schweißpunkt während der Belastung gemessen. Treten eine Rissinitiierung und ein Risswachstum innerhalb der Fügeebene der Verbindung auf, erfolgt proportional zur Reduktion der verbundenen Fläche

ein Anstieg des elektrischen Potenzials. Durch Entlastungsversuche werden Korrelationen zwischen Potenzialänderung und Querschnittsabnahme ermittelt, die in weiteren Versuchen zur Online-Rissfortschrittmessung eingesetzt werden. Unter Annahme linear-elastischer Bruchmechanik und analytischer Modelle kann die Bruchzähigkeit des Schweißlinsengefüges ermittelt werden und als quantitative Kenngröße zum Vergleich unterschiedlicher Schweißparameter, Wärmebehandlungen oder sogar Legierungskonzepten dienen. Die Ergebnisse können helfen, die Kopfzugfestigkeiten von Schweißpunkten in hochfesten Stählen zu erhöhen.

Sebastian Burget, Dr. Silke Sommer



1 Erscheinungsformen von Mischbrüchen (oben) und deren typischer Kraft-Wegverlauf mit Abnahme der verbundenen Schweißlinsenfläche unter Normalbelastung (unten).

KRIECHEN FASERVERSTÄRKTER KUNSTSTOFFE

Gruppe
Verbundwerkstoffe

Dr. Jörg Hohe | Telefon +49 761 5142-340 | joerg.hohe@iwmm.fraunhofer.de

Faserverstärkte Polymere besitzen eine hohe spezifische Steifigkeit und Festigkeit. Sie werden daher zunehmend im Fahrzeugbau und in der Luftfahrt eingesetzt. Verbundwerkstoffe mit thermoplastischer Matrix bieten Kostenvorteile und sind daher von besonderem wirtschaftlichem Interesse. In Anwendungen bei erhöhter Temperatur limitiert die Kriechneigung der Matrix allerdings oft die zulässige statische Belastung. Für die Auslegung von Komponenten aus thermoplastischen Verbundwerkstoffen ist somit die Charakterisierung des Kriechverhaltens dieser Werkstoffe essenziell.

Experimentelle Ermittlung des Kriechverhaltens

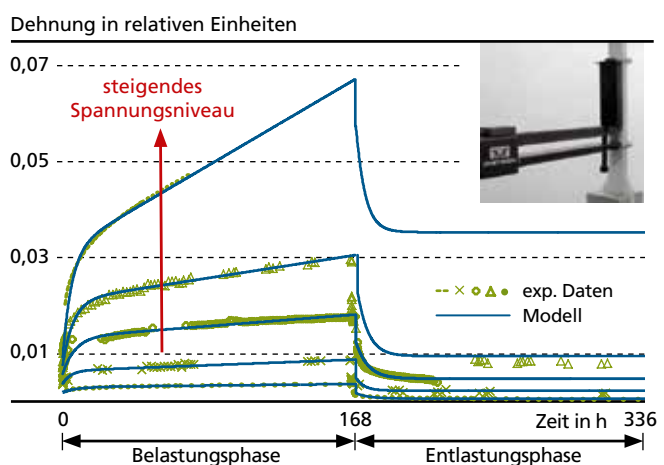
Das zeitabhängige Verhalten faserverstärkter Verbundwerkstoffe kann am Fraunhofer IWM unter Zug, Druck und Biegung experimentell bestimmt werden. Das Langzeitverhalten wird typischerweise in Retardationsversuchen untersucht, in denen Werkstoffproben unter kontrollierter Umgebungstemperatur und -feuchte statisch belastet werden (Abbildung 1 rechts). Die Verformung der Proben wird mit Wegaufnehmern oder optischen Messverfahren kontinuierlich aufgezeichnet.

Viskoelastische Materialmodellierung

Es existiert eine Vielzahl von viskoelastischen Materialmodellen. Die Auswahl eines geeigneten Modells ist oft nicht trivial. Basierend auf dem experimentell beobachteten Verhalten werden am Fraunhofer IWM geeignete Modelle identifiziert und wenn nötig modifiziert, um die für die Anwendung entscheidenden Aspekte abbilden zu können. Ein beispielhafter Werkstoff mit thermoplastischer Matrix zeigte im Kriechversuch eine starke Abhängigkeit der zeitlichen Deformation vom

Spannungsniveau (Abbildung 1), die für die Simulation von Bauteilen wesentlich ist. Ein modifiziertes Burgers-Modell kann die beobachtete Spannungsabhängigkeit mit hoher Genauigkeit abbilden. Darüber hinaus werden am Fraunhofer IWM auch mikromechanische Kriechmodelle entwickelt, mit denen der Einfluss der Mikrostruktur vorhergesagt werden kann. Dies ermöglicht eine zielgerichtete Werkstoffoptimierung unter Berücksichtigung von Faser-, Matrix- und Grenzflächeneigenschaften sowie der Mikrostruktur (Faseranteil, -orientierung und -länge).

Dr. Achim Neubrand, Sascha Fliegner



1 Zugprobe, im schmalsten Bereich 10 mm breit, mit Wegmesssystem (rechts), experimentell ermittelte Dehnung (Kriechversuch) bei verschiedenen, ansteigenden Spannungsniveaus und Anpassung eines nichtlinear viskoelastischen Materialmodells (links).



GESCHÄFTSFELDLEITER

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

Fokus

Wir bewerten den Einfluss von Mikrostruktur, Eigenspannungen und Schädigung auf Funktionalität und Lebensdauer von Bauteilen. Besonderen Wert legen wir auf die Verknüpfung von zielgerichteten Analysen und Experimenten mit fortschrittlichen Werkstoffmodellen und auf das Verständnis für die Anforderungen an die Bauteile unserer Kunden. Schwerpunkte unserer Arbeiten sind die Modellierung zyklischer thermomechanischer Beanspruchungen und die Aufklärung von Degradationsmechanismen der Korrosion, Spannungsrisskorrosion und Wasserstoffversprödung. Bei akuten Schadensfällen unterstützen wir unsere Kunden durch Gutachten.

» Unsere Kunden schätzen an uns, dass unsere Lebensdauerkonzepte auf präzisen Mikrostruktur- und Eigenspannungsinformationen beruhen.«

Bemerkenswertes aus 2014

Mithilfe der im Vorjahr neu aufgebauten Möglichkeiten zur Qualifizierung von Werkstoffen und Bauteilen für den Einsatz in solarthermischen Kraftwerken haben wir 2014 das Verhalten unterschiedlicher Stähle im Kontakt mit 560 °C heißen Salzschnmelzen untersucht. Salzschnmelzen sind die derzeitig favorisierten Wärmeträger für derartige Kraftwerke, bergen jedoch die Gefahr von Korrosion und Spannungsrisskorrosion der Kraftwerk-Bauteile. Mittels SSRT-Prüfeinrichtungen (slow strain rate testing) konnten wir erfolgreich Spannungsrisskorrosions-Untersuchungen durchführen. Die Ergebnisse unserer Ermüdungsversuche an mit Salzschnmelze befüllten Rohren konnten den Einfluss der Korrosion auf das Ermüdungsverhalten (LCF, low cycle fatigue) aufzeigen.

Zudem etabliert sich die Simulation makroskopischer mechanischer Eigenschaften von Werkstoffen durch Mikrostrukturmodelle zunehmend in unseren Forschungsvorhaben. Mit thermodynamisch oder phänomenologisch basierten Ansätzen simulieren wir die Ausscheidungsentwicklung von Aluminium-, Kupfer- und Nickelbasislegierungen während der Wärmebehandlung und im Betrieb. Die Modelle erlauben eine ortsabhängige Bewertung der sich einstellenden mechanischen Eigenschaften in thermomechanisch belasteten Komponenten.

WERKSTOFFBEWERTUNG, LEBENSDAUERKONZEPTE

Gruppen



Mikrostruktur, Eigenspannungen

Wir untersuchen den Einfluss von Herstellungsverfahren und Betriebsbeanspruchungen auf Mikrostruktur, Integrität und Eigenspannungszustand von Werkstoffen und Bauteilen und unterstützen bei der Werkstoffauswahl und der Optimierung von Werkstoffen.

Dr. Wulf Pfeiffer | wulf.pfeiffer@iwf.fraunhofer.de



Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik

Durch mechanismenbasierte Werkstoff- und Lebensdauermodelle für thermomechanische Ermüdungsbelastung ermöglichen wir verlässliche Vorhersagen in Bauteilsimulationen, sodass unsere Kunden Entwicklungskosten und -zeit sparen können.

Dr. Christoph Schweizer | christoph.schweizer@iwf.fraunhofer.de

MODELLIERUNG DER AUSSCHIEDUNGS- KINETIK EINER CU-LEGIERUNG

Gruppe

Mikrostruktur, Eigenspannungen

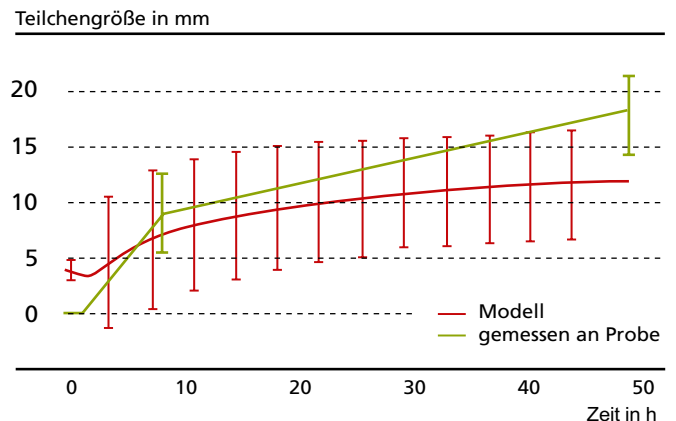
Dr. Wulf Pfeiffer | Telefon +49 761 5142-166 | wulf.pfeiffer@iwmm.fraunhofer.de

Viele Werkstoffe erreichen ihre guten mechanischen Eigenschaften durch den Mechanismus der Ausscheidungshärtung. Dies gilt beispielsweise für ausscheidungsgehärtete Aluminiumlegierungen, die bei geringem Gewicht hohe Festigkeiten erreichen, oder für Nickellegierungen, die dadurch auch bei hohen Temperaturen gute Festigkeits- und Kriecheigenschaften besitzen. In Kupferlegierungen nutzt man diesen Mechanismus, da dadurch gute Festigkeits- und Relaxationseigenschaften mit hoher elektrischer Leitfähigkeit einhergehen. Diese Eigenschaftskombination erfüllt die hohen Anforderungen an eine gute und sichere Kontaktierung, die beispielsweise bei Steckverbindern besonders wichtig sind.

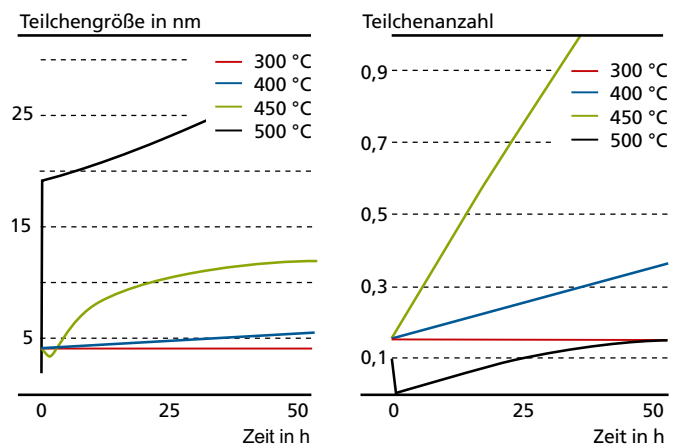
Entwicklung von Ausscheidungsgrößen

Die Ausscheidungsgröße und -verteilung hat einen wesentlichen Einfluss auf die resultierenden mechanischen Eigenschaften. Diese Gefügeigenschaften lassen sich nach einer Lösungsglühung beispielsweise durch eine Anpassung der Auslagerungstemperatur und -dauer sowie der Walzparameter einstellen. Dabei sind jeweils die Möglichkeiten der Temperaturführung im gesamten Herstellungsprozess mit zu beachten.

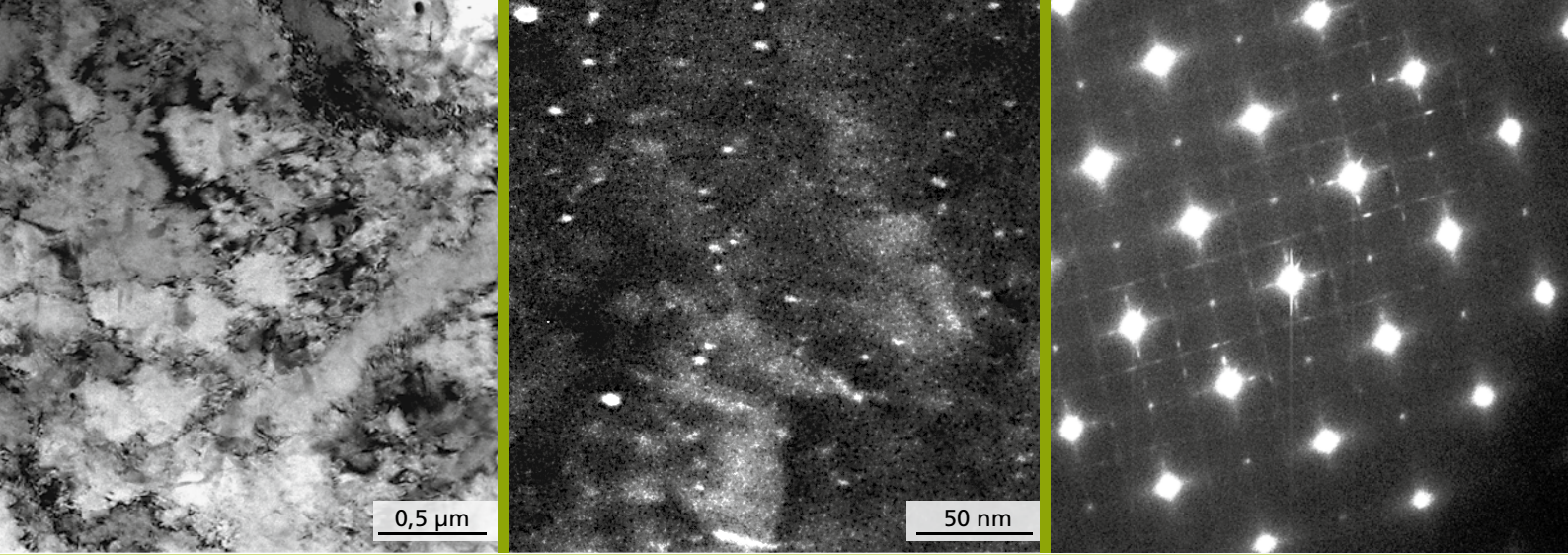
Im Rahmen eines AiF-geförderten Projekts wurde am Fraunhofer IWM an hochleitfähigen Cu-Ni-Si-Legierungen zunächst die Ausscheidungsverteilung von verschiedenen Zuständen analysiert. Dazu wurden Proben mit unterschiedlichen Glühparametern entnommen, ihre Eigenschaften ermittelt und die Ausscheidungsverteilung im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) vermessen. In der Abbildung oben rechts sind TEM-Aufnahmen wiedergegeben, anhand derer sich charakteristische Eigenschaften der Mikrostruktur



1 Ausscheidungsdurchmesser, berechnet auf Grundlage eines thermodynamisch-kinetischen Modells und gemessen im TEM.



2 Anhand des Modells lassen sich die Ausscheidungsentwicklung nach dem Lösungsglühen und die Auslagerung bei verschiedenen Temperaturen berechnen.



TEM-Hellfeldaufnahme einer ausscheidungsgehärteten Cu-Legierung mit Versetzungszellen (links). Per Dunkelfeldkontrast verdeutlichte Ausscheidungen (helle Punkte, Mitte). Per Beugungsanalyse bestimmter Ausscheidungstyp (hier Ni_2Si , rechts).

ermitteln lassen. Beispielsweise zeigt eine Dunkelfeldaufnahme Ausscheidungen, die ausgemessen oder analysiert werden können. Über Elektronenbeugung lässt sich der Ausscheidungstyp bestimmen, im Beispiel konnte Ni_2Si identifiziert werden. Für die Anwendung von Kontaktwerkstoffen für Steckverbinder sind Kupferbleche mit kleinen, fein verteilten Ausscheidungen in einer homogenen Mischkristallmatrix wünschenswert.

Thermodynamische Modellierung

Die Ausscheidungsverteilung wurde mit geeigneten Methoden modelliert, um den Einfluss von Glühparametern während der Herstellung oder den Einfluss erhöhter Anwendungstemperaturen auf die Ausscheidungsmorphologie während des Einsatzes berechnen zu können. Die Entwicklung der Ausscheidungsverteilung über die Zeit lässt sich mithilfe thermodynamisch-kinetischer Modelle berechnen. Wichtig für eine solche Berechnung ist eine gute Kenntnis der thermodynamischen Parameter. Dies sind im Wesentlichen die Gibbs-Energie-Funktionen für die einzelnen Phasen (hier Ausscheidungen und Matrix) in Abhängigkeit von der Temperatur und Legierungskonzentration. Diese Informationen sind häufig in öffentlichen oder kommerziellen Datenbanken für verschiedene Legierungsklassen verfügbar. Ebenso sind kinetische Parameter notwendig, wie die Diffusionskoeffizienten der einzelnen Komponenten in der Mischkristallmatrix. Am Fraunhofer IWM sind verschiedene Softwarepakete (Thermocalc, Matcalc) verfügbar, um Berechnungen zur Teilchenkinetik durchführen zu können. Ebenso wurden in den letzten Jahren am Fraunhofer IWM eigene Materialcodes entwickelt, die je nach Fragestellung angepasst oder erweitert werden können.

Es wurde auf Basis von Literaturdaten einer Cu-Ni-Si-Legierung ein Materialmodell aufgestellt, wobei generell nur sehr wenige Parameter (zur Nukleation oder Grenzflächenenergie) angepasst wurden. Das Modell berücksichtigt Nukleation, Wachstum und Auflösung von Partikeln in einer Matrix. In Abbildung 1 ist die zeitliche Entwicklung der Ausscheidungsgröße wiedergegeben und mit TEM-Messungen verglichen worden. In Abbildung 2 ist die Entwicklung der mittleren Ausscheidungsgröße sowie der relativen Teilchenanzahl bei unterschiedlichen Auslagerungstemperaturen dargestellt. Im gezeigten Beispiel wachsen bei Temperaturen bis 400 °C die Ausscheidungen aufgrund niedriger Diffusion sehr langsam. Bei 500 °C hingegen entstehen rasch sehr große, einzelne Partikel. Bei 450 °C entsteht eine Vielzahl fein verteilter Partikel, was zu hohen Festigkeiten führt.

Ausblick

Das entwickelte Modell kann mit der Anpassung weniger Parameter die Ausscheidungsentwicklung gut vorhersagen. In weiteren Schritten wird das Modell mit verschiedenen Parametern aus der Produktion abgeglichen. Durch die Implementierung der Ausscheidungsgröße in mechanischen Werkstoffmodellen kann unter anderem die Langzeitstabilität von Legierungen deutlich besser vorhergesagt werden.

Dr. Johannes Preußner

BEWERTUNG DES THERMOMECHANISCHEN ERMÜDUNGSRISSWACHSTUMS

Gruppe

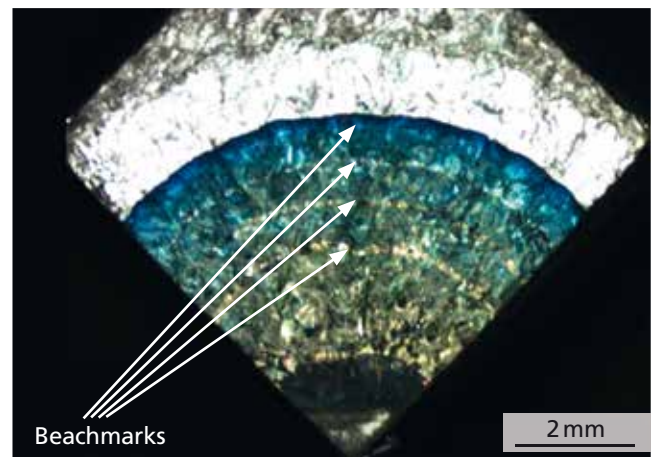
Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik

Dr. Christoph Schweizer | Telefon +49 761 5142-382 | christoph.schweizer@iwf.fraunhofer.de

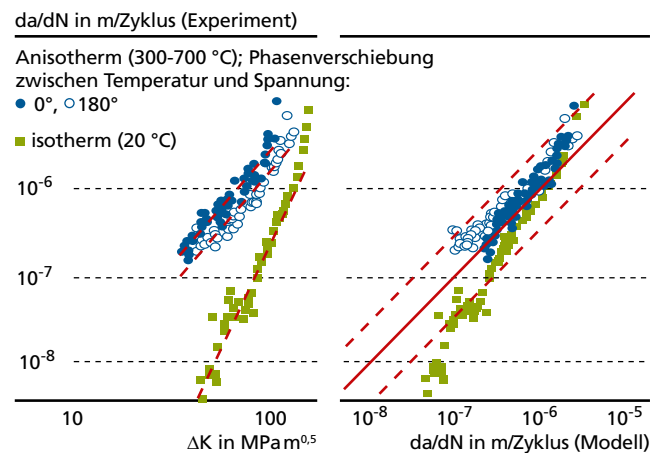
Komponenten von Gas- und Dampfturbinen sind verstärkt thermomechanischen Ermüdungsbelastungen ausgesetzt. Sie entstehen durch häufige An- und Abfahrvorgänge, die nötig sind, um den schwankenden Energiebedarf aus fossil befeuerten Kraftwerken auszugleichen. Das Streben nach verbesserten thermischen Wirkungsgraden der Anlagen setzt zudem immer höhere Betriebstemperaturen voraus. Das macht zum einen den Einsatz neuer hochwarmfester Legierungen notwendig und erhöht zum anderen die Beanspruchung durch thermomechanische Ermüdung. In massiven Bauteilen spielt die Bewertung vorhandener Materialdefekte, die zyklischen Belastungsbedingungen unterliegen, eine immer wichtigere Rolle. Häufig entstehen diese Defekte bereits beim Fertigungsprozess zum Beispiel im Bereich von Schweißnähten und lassen sich nicht immer gänzlich vermeiden. Am Fraunhofer IWM wurde eine Methodik entwickelt, um das Risswachstum unter thermomechanischer Ermüdungsbelastung experimentell zu ermitteln und mithilfe von Rissfortschrittsmodellen rechnerisch zu bewerten.

Versuchsaufbau

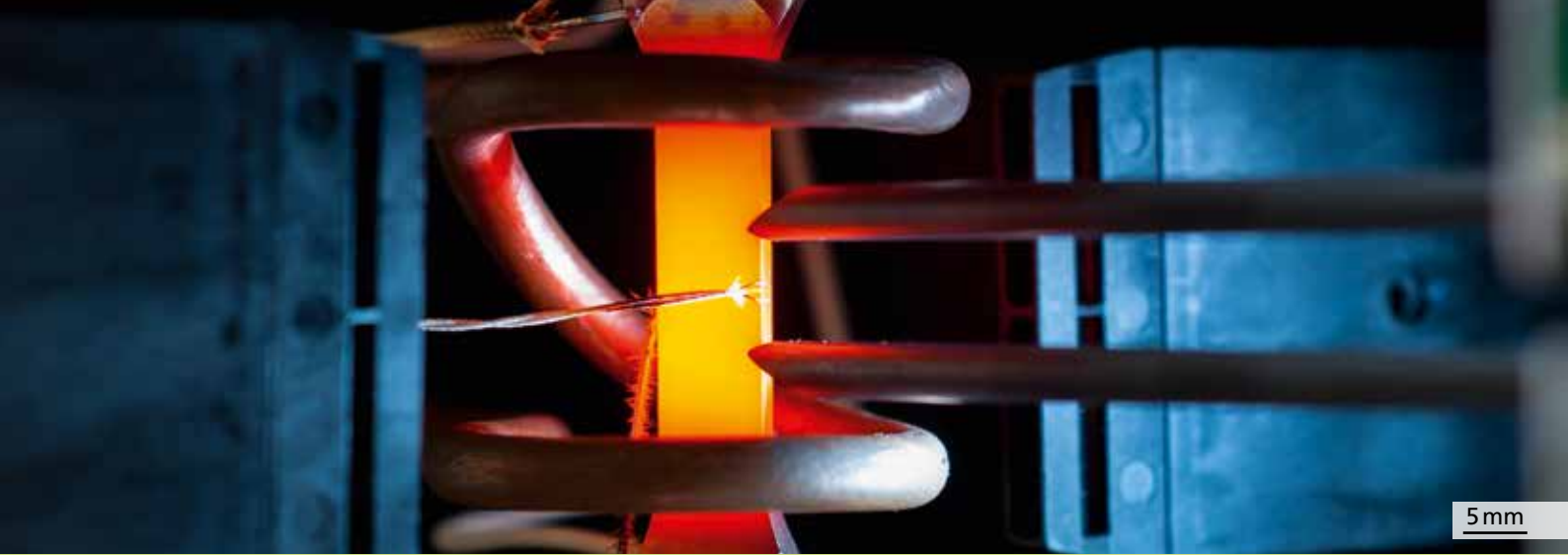
Für eine Messung des Risswachstums unter anisothermen Bedingungen hat sich am Fraunhofer IWM die Corner-Crack-Probe bewährt. Sie stellt eine Bruchmechanikprobe mit quadratischem Prüfquerschnitt dar, bei der sich der Riss von einer Ecke ausgehend viertelkreisförmig ausbreitet. Für die Messung der Risslänge wird eine Wechselstrompotenzialsonde verwendet, die speziell für anisotherme Belastungen qualifiziert wurde. Die Beheizung der Probe erfolgt induktiv, wobei zur Umsetzung schneller Abkühlrampen eine aktive Druckluftkühlung eingesetzt wird. Ein seitlich angebrachtes



1 Bruchfläche einer Corner-Crack-Probe mit Beachmarks zur Kalibrierung des Potenziessignals.



2 Einfluss der Temperatur und deren Phasenbeziehung zur mechanischen Belastung auf das Risswachstum (links). Rechnerisch und experimentell bestimmte Risswachstumsgeschwindigkeit (rechts).



5 mm

Versuchsaufbau zur Messung des thermomechanischen Ermüdungsrisswachstums.

Hochtemperatur-Extensometer dient zur Messung der Rissflankenöffnung und ermöglicht damit Rückschlüsse auf Riss-schließeffekte. Die Kalibrierung der Potenzialsonde erfolgt mithilfe von sogenannten Beachmarks auf der Bruchfläche (Abbildung 1). Diese als Streifen sichtbaren Markierungen werden durch kurzzeitige Veränderung von Belastungsverhältnis und -frequenz erzeugt und erlauben eine Korrelation zwischen dem Potenzialanstieg und der Risslänge.

Einflüsse auf das Risswachstum

In verschiedenen Forschungsvorhaben am Fraunhofer IWM wurden mehrere Nickelwerkstoffe untersucht. Als wichtige Einflussgrößen auf das Risswachstum wurden neben dem Belastungsverhältnis die Zykluszeit sowie die Temperatur und deren Phasenbeziehung zur mechanischen Belastung ermittelt. Abbildung 2 links zeigt an einer Nickellegierung für Kraftwerksanwendungen die qualitative Änderung der Risswachstumsgeschwindigkeit da/dN abhängig von der Temperatur sowie abhängig von der Phasenbeziehung. Je nach Legierung ergibt sich auch ein Einfluss der Umgebungsluft sowie des Werkstoffzustands, der sich abhängig von der thermischen Auslagerung ergibt. Der Risswachstumsmechanismus kann sich abhängig von diesen Einflussgrößen ändern und wird durch einen trans- oder interkristallinen Rissverlauf geprägt.

Modellierung

Das Ziel der Modellierung ist es, eine einheitliche Vorhersage des Risswachstums unabhängig von den verschiedenen Einflussgrößen zu erhalten. Die rechnerische Beschreibung des Risswachstums basiert auf einem mechanismenbasierten Ansatz, in dem als wesentliche Größe die zeitabhängige

Entwicklung der zyklischen Riss-spitzenöffnung eingeht. Die Werkstoffkennwerte, die das Verfestigungs-, Kriech- und Sauerstoffdiffusionsverhalten charakterisieren, lassen sich dabei überwiegend aus unabhängigen Experimenten ermitteln. Abbildung 2 rechts zeigt die Gegenüberstellung der gemessenen und der berechneten Risswachstumsgeschwindigkeit. Im Gegensatz zu Abbildung 2 links lassen sich die Versuchsergebnisse unabhängig von Belastung und Temperatur größtenteils in einem engen Streuband beschreiben. Durch die Nachrechnung von isothermen Messdaten aus der Literatur konnte das Modell erfolgreich validiert werden. Das Risswachstumsmodell kann schließlich als Grundlage für eine (Rest-)Lebensdauerbewertung von Komponenten herangezogen werden, sodass frühzeitig Aussagen über das lokale Werkstoff- und Rissverhalten möglich sind. Durch die Kombination aus mechanismenbasiertem Modell und Bruchmechanik ist eine Übertragung auf weitere metallische Werkstoffe möglich und Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben.

Dr. Michael Schlesinger



GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Peter Michel | Telefon +49 345 5589-203 | peter.michel@iwmh.fraunhofer.de

Fokus

Kunststoffe und Faser-Kunststoffverbunde (FKV) haben sich in Luftfahrt und Automobilbau einen Platz als eigenständige Materialklasse erobert. Unter dem Motto »das richtige Material in die richtige Anwendung« kommen sie auch in Kombination mit klassischen Werkstoffen zum Einsatz. Wir sehen unsere Ziele in der Materialentwicklung für Energieeffizienz und Leichtbau und konzentrieren uns vorrangig auf thermoplastische Matrixsysteme. Dabei priorisieren wir nachhaltig gewonnene Materialien. Wir bieten die komplette Entwicklungskette vom Materialdesign bis zum geprüften prototypischen Bauteil in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Pilotanlagenzentrum in Schkopau an, inklusive der Charakterisierung, Bewertung und Simulation von Material, Prozess und Bauteil.

»Der erste Großserieneinsatz von FKV auf dem Gebiet der Carbonfasernanwendung ist gemacht. In den nächsten Jahren wird die Optimierung der Systeme die Szene prägen, wir erwarten unter anderem einen verstärkten Einsatz von thermoplastisch gebundenen Systemen.«

Bemerkenswertes aus 2014

Dr. Peter Michel übernahm zu Beginn des Jahres die Geschäftsfeldleitung. Im März wurde er zudem an der Hochschule Merseburg Professor für Kunststoffverarbeitung im Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften. Prof. Dr. Mario Beiner übernahm Anfang des Jahres die wissenschaftliche Leitung des Geschäftsfelds und Andreas Kromholz wurde im Mai Leiter der Gruppe Naturstoffkomposite.

Unsere Forschungsarbeiten zu Schädigungsmechanismen, -entstehung und -ausbreitung profitieren erheblich durch unsere neue in situ-Röntgen-CT-Anlage (185 kV Nanofokus, 225 kV Mikrofokus). Im Rahmen der Leitmarktstrategie des Landes Sachsen-Anhalt verankerten wir das Fraunhofer Pilotanlagenzentrum PAZ als Zentrum für großserientauglichen polymerbasierten Leichtbau.

Das Projekt ENFALAM zum Thema Prozesstechnik für thermoplastische Komposite, gefördert durch die IB Bank des Landes Sachsen-Anhalt, ging an den Start. Zudem konnten wir das Spitzencluster BioÖkonomie erfolgreich evaluieren und das Projekt Bio-UD Tape gewinnen. Es geht bei Letzterem um nachhaltige Materialsysteme, die im automobilen Interieur eingesetzt werden und Struktureigenschaften besitzen, die das Anforderungsniveau von Anhängestrukturen erreichen. In der Anwendung Luftfahrt bearbeiten wir Projekte im Programm LUVO. Darüber hinaus engagieren wir uns in den Allianzen Bau und Leichtbau.

Gruppen



Naturstoffkomposite

Wir untersuchen Verarbeitungsparameter duroplastischer bis thermoplastischer petrochemischer Matrizes mit Komponenten aus nachwachsenden Rohstoffen und charakterisieren sie. So entwickeln wir umweltfreundlichere Komposite mit erhöhtem Gebrauchswert.

Andreas Krombholz | andreas.krombholz@iwm.fraunhofer.de



Polymerbasiertes Materialdesign

Wir optimieren Polymermaterialien wie thermoplastisch verarbeitbare superelastische Polymere, nanostrukturierte Copolymere sowie mit nanoskaligen Füllstoffen modifizierte Polymersysteme. Wir untersuchen die Zusammenhänge von molekularer Struktur, Morphologie und mechanischen Eigenschaften.

Prof. Dr. Mario Beiner | mario.beiner@iwm.fraunhofer.de



Polymerverarbeitung im

Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ

Wir bewerten thermoplastische Hochleistungs-Komposit-Bauteile strukturmechanisch und untersuchen integrative Fertigungsverfahren für Kombinationen aus endlos-, kurz- und langglasfaserverstärkten Leichtbau-Polymeren. Zudem legen wir Bauteile aus: als Prototypen bis hin zur Nullserie.

Dr. Peter Michel | peter.michel@iwmh.fraunhofer.de

RECYCLATHALTIGE LAUFLÄCHEN FÜR RUNDERNEUERTE NUTZFAHRZEUGREIFEN

Gruppe

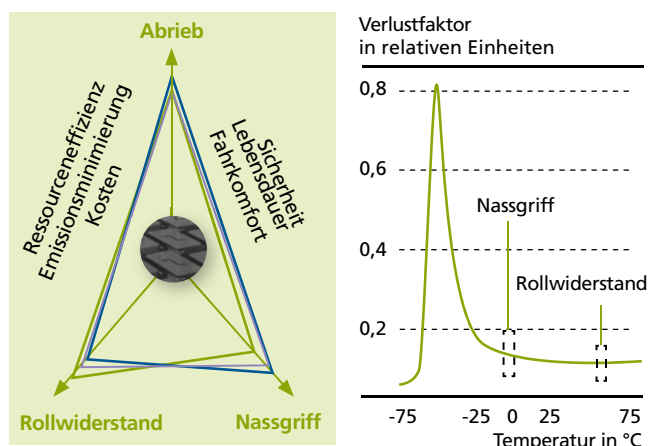
Polymerbasiertes Materialdesign

Prof. Dr. Mario Beiner | Telefon +49 345 5589-247 | mario.beiner@iwmm.fraunhofer.de

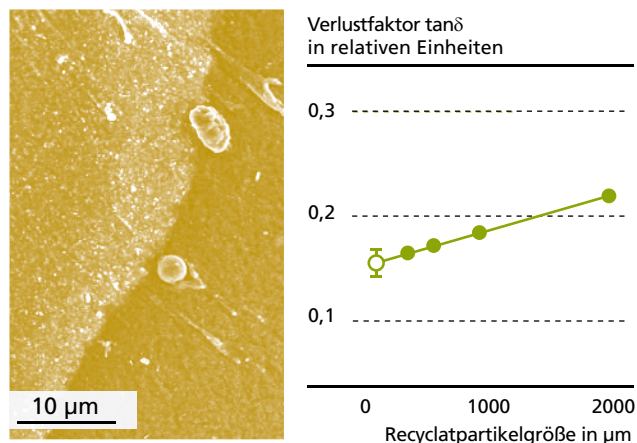
Die Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz von Nutzfahrzeugreifen ist ein wichtiger Beitrag zur ökonomischen und ökologischen Abwicklung des Gütertransports auf der Straße. Nutzfahrzeugreifen, die durch Runderneuerung aus Altreifen hergestellt werden, finden bereits heute breite Anwendung. Bei der Runderneuerung werden alte Karkassen mit neuen Reifenlaufflächen versehen. Die Ressourceneffizienz kann weiter gesteigert werden, wenn Gummi-recyclat aus Produktionsabfällen und dem Altreifenrecycling in die Kautschukkomposite für die neuen Laufflächen eingebracht werden. Ein werkstoffmechanisch besonders wichtiger Aspekt ist dabei, Recyclat und Rezeptur der Laufflächenmischungen hinsichtlich reifenrelevanter Eigenschaften, wie Rollwiderstand, Nassrutschverhalten und Abrieb, zu optimieren.

Projekt EKORUND

Im Rahmen des BMBF-Programms »KMU-Innovativ: Energie- und Ressourceneffizienz« widmet sich das Projekt EKORUND der Optimierung gummi-recyclathaltiger, emissionsarmer Laufflächen für runderneuerte Nutzfahrzeugreifen. Das Projekt beinhaltet neben der Optimierung der Recyclate und der Kautschukkomposite für die Reifenlaufflächen auch die systematische Erprobung in der Praxis. Die Zusammenarbeit von Projektpartnern mit verschiedener Expertise ist hierbei besonders wichtig und hilfreich. Bei der Deutsche Gumtec AG wird dem Zweck angepasstes physikalisch-chemisch aktives Pulver (PCAP) aus Gummiabfällen hergestellt. Die Marangoni Retreading Systems Deutschland GmbH fertigt vulkanisierte Laufstreifen und optimiert in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWM die recyathaltigen Kautschukkomposite. Mit der Rösler Tyre Innovators GmbH & Co. KG ist ein weltweit



1 Magisches Dreieck für 3 verschiedene Komposite (links) und temperaturabhängiger Verlustfaktor $\tan \delta$ (rechts) eines Kautschukkomposits für Reifenlaufflächen bei 10 Hz.



2 REM-Aufnahme eines Gummi-recyclatpartikels im Kautschukkomposit (links) und Abhängigkeit des Rollwiderstands von der Recyclat-partikelgröße bei 60 °C und 10 Hz (rechts).



Laufstreifenherstellung (links) (Marangoni GmbH) und Prüfung von runderneuertem EM-Reifen (Mitte und rechts).

etablierter EM-Reifenrunderneuerer eingebunden, der wie die LKW-Reifenrunderneuerer Reifen Müller GmbH & Co. Runderneuerungswerk KG, RET GmbH und RuLa GmbH Praxistests durchführt.

Optimierung von Kautschukkompositen für Reifenlaufflächen

Die wichtigsten Kenngrößen für die Optimierung von Reifenlaufflächen sind Rollwiderstand, Nassgriff und Abrieb. Diese drei Kenngrößen bilden das sogenannte »magische Dreieck« zur Optimierung der eingesetzten Kautschukkomposite (Abbildung 1). Die Materialoptimierung beginnt oft im Labor und nutzt dabei bekannte Korrelationen zwischen Kenngrößen aus dynamisch-mechanischen Messungen an Kautschukkompositen und dem Verhalten beim späteren Einsatz in der Reifenlauffläche. Insbesondere werden dynamisch-mechanische Untersuchungen bei kleinen Deformationsamplituden benutzt, um die in der Reifenlauffläche dissipierte Energie zu quantifizieren, die unter realen Einsatzbedingungen beim Rollen und Bremsen auftritt. Oft verwendet werden dabei als erste Indikatoren $\tan\delta$ -Werte, die bei einer Frequenz von 10 Hz und Temperaturen von 0 °C (Nassgriff) und 60 °C (Rollwiderstand) gemessen werden. Dissipation beim Rollen erhöht den Kraftstoffverbrauch, während Dissipation bei Bremsen erforderlich ist. Dies zeigt schon ein grundsätzliches Problem der Materialoptimierung für Reifenlaufflächen. Zusätzlich gilt es Abrieb zu vermeiden und füllstoffinduzierte Verstärkungseffekte optimal zu nutzen. Dabei werden Abriebtests, bruchmechanische Untersuchungsmethoden und mechanische Messungen mit variabler Deformationsamplitude verwendet.

Reifenlaufflächen mit Recyclatanteil

Beim Einsatz recyclathaltiger Kautschukkomposite für Reifenlaufflächen stellen sich alte Herausforderungen in neuer Form. Es gilt, eine zusätzliche Komponente effizient zu integrieren. Die einzusetzenden Recyclate sind beim Einbringen in eine frische Kautschukmatrix bereits vernetzt und gefüllt. Es gilt deren Einbindung in das neue Kautschukkomposit zu optimieren, sodass sich die Reifeneigenschaften nicht verschlechtern. Der Einfluss von Recyclatparametern wie Korngröße, technologiebedingte Oberflächenstruktur und stoffliche Zusammensetzung auf reifenrelevante Kenngrößen wird erforscht und Technologien zur Verbesserung der Performance recyclathaltiger Reifenlaufflächen werden entwickelt. Dafür bildet das EKORUND-Konsortium mit seiner breiten Expertise ideale Voraussetzungen. Das Fraunhofer IWM trägt durch breit angelegte Untersuchungen zu Dissipation, Verstärkung und Abrieb bei.

Dr. Anas Mujtaba

IN SITU-RÖNTGEN-COMPUTERTOMOGRAPHIE AN POLYMERHARTSCHÄUMEN

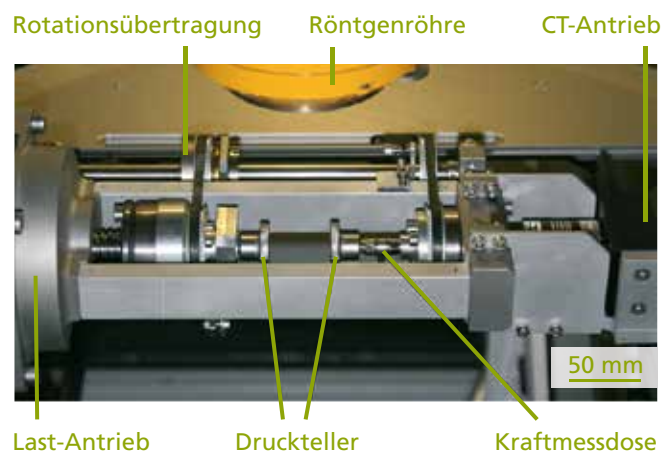
Gruppe
Polymerverarbeitung

Prof. Dr. Peter Michel | Telefon +49 345 5589-203 | peter.michel@iwmh.fraunhofer.de

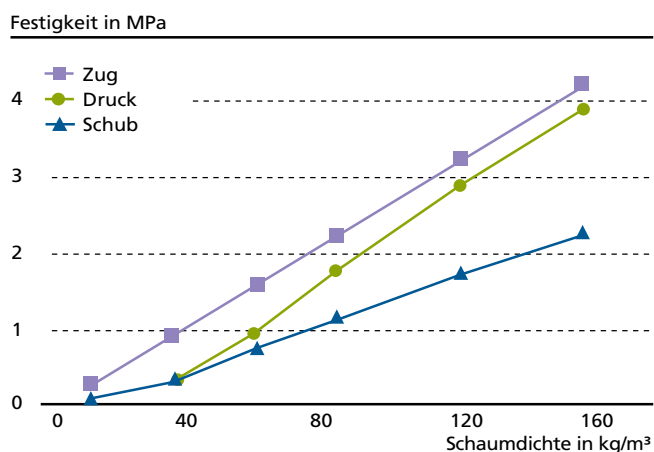
Polymerhartschaumstoffe weisen hohe gewichtsspezifische Steifigkeiten und Festigkeiten auf und eignen sich damit als Kernmaterial für hochbelastbare Sandwichstrukturen. In Verbindung mit hochsteifen und -festen Deckschichten, beispielsweise aus faserverstärkten Kunststoffen, lassen sich biegesteife Strukturen vor allem für flächige, beulgefährdete Bauteile im Fahrzeug- und Anlagenbau in Leichtbauweise realisieren. Damit sich die im Vergleich zu anderen Kernmaterialien kostengünstigen Polymerhartschäume weiter durchsetzen können, ist eine detaillierte Kenntnis ihres werkstoffmechanischen Verhaltens erforderlich. Da das Verformungs- und Versagensverhalten von geschlossenzelligen Polymerhartschäumen nicht nur von dem konstituierenden Basismaterial, sondern in erheblichem Maße auch von der zellularen Struktur bestimmt wird, ist diese zwingend in die Werkstoffcharakterisierung einzubeziehen. Dies gelingt mithilfe der Mikro-Röntgen-Computertomographie.

In situ-Röntgen-Computertomographie

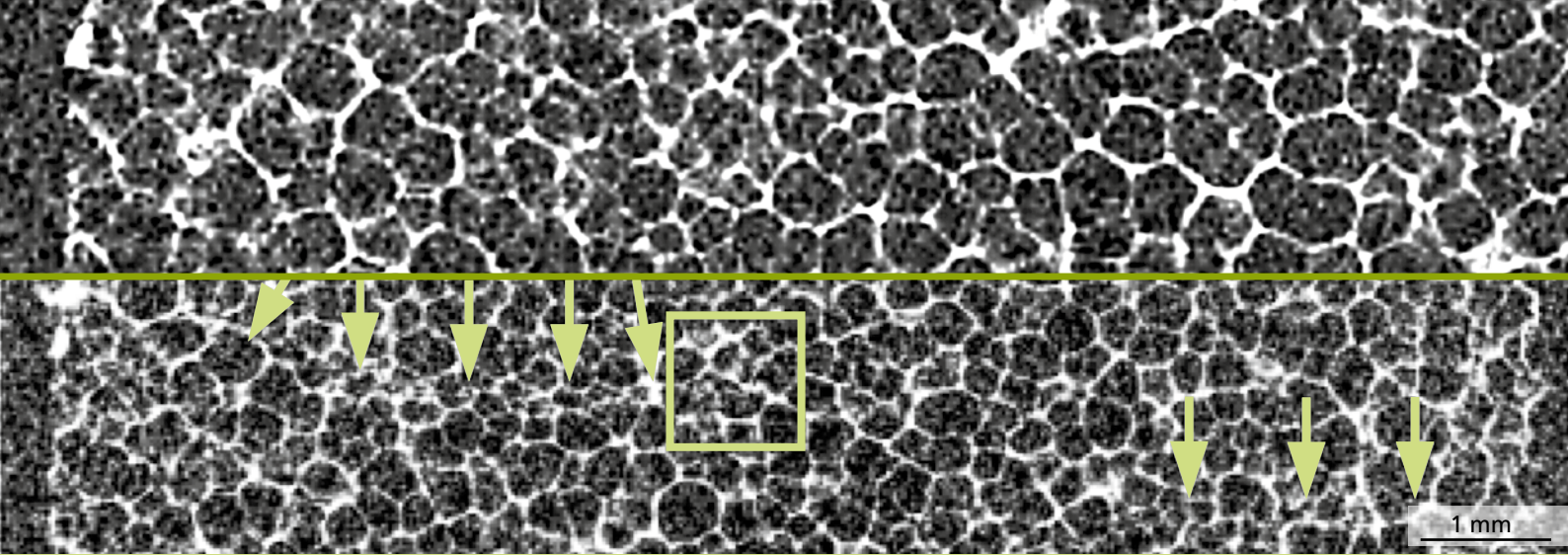
Insbesondere bei Werkstoffen mit einer ausgeprägten inneren Mesostruktur, wie zum Beispiel Faserverbundwerkstoffen und Schäumen, besteht starkes Interesse an der Aufklärung der Struktur-Eigenschafts-Korrelation, welche die Beeinflussung des makroskopischen Verhaltens des entsprechenden Werkstoffes durch seine innere mesoskopische Struktur beschreibt. Diese Werkstoffe werden in der Regel auch auf die Anwendung bezogen maßgeschneidert und optimiert, indem die mesoskopische Struktur den äußeren Belastungen bestmöglich angepasst wird. Zur detaillierten Aufklärung der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen werden am Fraunhofer IWM in situ-Röntgen-Computertomographie-Experimente durchgeführt. Dafür werden entsprechende Werkstoffproben



1 In situ-Verformungsapparatur (Eigenentwicklung) im Röntgen-Computertomograph RayScan 200E.



2 Mit FE-Modell der Zellstruktur berechnete dichteabhängige Zug-, Druck- und Schubfestigkeit eines Polymerhartschaums.



Polymerschaum unter vertikaler Druckbelastung, unbelastet (oben) und belastet (unten), Schnittbild aus einer in situ-Röntgen-Computertomographie-Untersuchung.

mithilfe von zum Teil selbst entwickelten Verformungsapparaturen (Abbildung 1) belastet und unter gehaltener Last in einer Röntgen-Computertomographie-Anlage analysiert. Aus den 3D-Bilddatensätzen der deformierten inneren Struktur können Erkenntnisse zum Verformungs- und Versagensverhalten des Werkstoffes abgeleitet werden.

Geschlossenzellige Polymerhartschäume unter mechanischer Belastung

Charakteristisch für Polymerhartschäume, wie den hier analysierten Polymethacrylimid-Schaum, ist ein unterschiedliches Verhalten unter Zug- und Druckbelastung. Während sich im Druckversuch dem anfänglichen linear elastischen Bereich des Spannungs-Dehnungs-Diagramms ein Spannungsplateau und damit ein ausgeprägtes plastisches Verhalten anschließt, versagt das Material unter Zuglast dagegen sehr spröde. Dieses von der Art der Belastung abhängige, unterschiedliche makroskopische Verhalten ist, wie die Aufnahmen aus in situ-Röntgen-Computertomographie-Untersuchungen zeigen, im Wesentlichen auf die Zellstruktur des Schaums zurückzuführen. Anhand von Schnittbildern aus über die Belastungssequenz aufgenommenen 3D-Bilddatensätzen (Abbildung oben) der Zellstruktur können die relevanten Versagensmechanismen vom initialen Zellwandbeulen bis zum Kollaps kompletter Zellebenen identifiziert werden. Die während der in situ-Versuche aufgezeichneten Kraft-Weg-Kurven ermöglichen es, die beobachteten Mechanismen mit dem makroskopischen Verhalten zu korrelieren.

Festigkeitsvorhersage durch mechanismenbasierte FE-Simulation

Zur weiterführenden Analyse der Struktur-Eigenschaftskorrelation werden skalenübergreifende numerische Analysen des Deformations- und Versagensverhaltens der Zellstruktur durchgeführt. Dazu werden mithilfe der Methode der Finiten-Elemente Modelle der Zellstruktur erstellt, die die experimentell beobachteten Mechanismen adäquat abbilden. Anhand von Parameterstudien werden im Sinne eines Virtual Material Testings die ursächlichen Zusammenhänge zwischen der Zellstruktur und den makroskopischen Materialkennwerten, wie Steifigkeiten und Festigkeiten, ermittelt (Abbildung 2). Daraus lassen sich wesentliche Erkenntnisse zur bedarfsgerechten Optimierung von Polymerhartschäumen ableiten.

Dr. Ralf Schlimper, Dr. Ralf Schäuble

HYBRIDSPRITZGUSS MIT ENDLOSFASER- VERSTÄRKTEN THERMOPLASTEN

Gruppe
Polymerverarbeitung

Prof. Dr. Peter Michel | Telefon +49 345 5589-203 | peter.michel@iwmm.fraunhofer.de

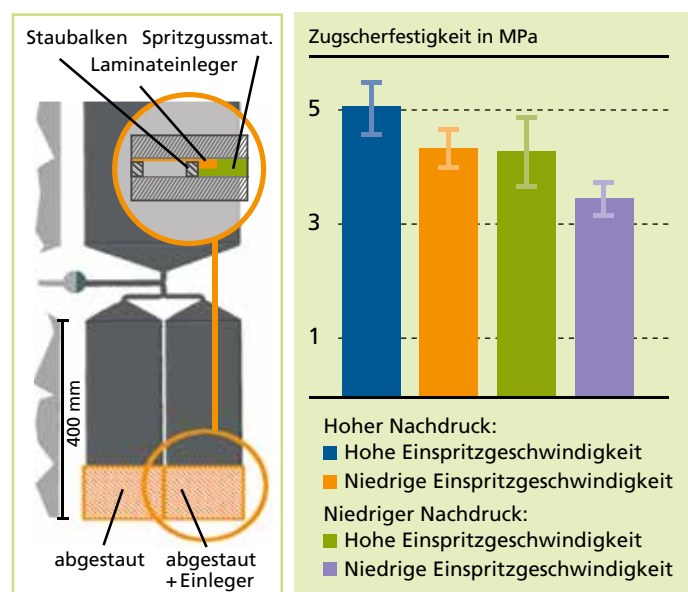
Kunststoffbasierte Hybridstrukturen, die mit anwendungsspezifischen Thermoplast-Laminaten im Spritzgussprozess hergestellt werden, weisen ein besonders hohes Leichtbau-Potenzial auf. Die besonderen Eigenschaften dieser multidirektionalen Laminat ergeben sich hierbei durch die lastgerechte Auslegung der Faserorientierung, wodurch die im Einsatz auftretenden Spannungen optimal aufgenommen werden können. Die Basis hierfür liefern unidirektional-faserverstärkte Halbzeuge (UD-Tapes), die entsprechend der benötigten Faserorientierung miteinander laminiert werden. Im nächsten Schritt erfolgt die verfahrenstechnische Integration in den Spritzgussprozess, die eine wirtschaftliche Umsetzung dieses Leichtbaukonzeptes ermöglicht. Hierbei werden die Laminat durch einen integrierten Umformprozess an die Bauteilgeometrie angepasst und anschließend funktionalisiert. Das Ergebnis des Prozesses sind Hybridstrukturen, die hohe und anforderungsgerechte Flächensteifigkeiten und Festigkeiten besitzen.

Charakterisierung von Material- und Verfahreseinflüssen

Neben dem Laminataufbau werden die resultierenden Eigenschaften insbesondere durch die verwendeten Polymere und Fasern sowie durch die Verfahrensparameter bei der Verarbeitung beeinflusst. Eine wesentliche Kenngröße für die Leistungsfähigkeit von Hybridbauteilen ist hierbei die Grenzflächenhaftung zwischen Laminat und Spritzgussmaterial. Nur bei einer guten Anbindung erfolgt der maximale Verstärkungseffekt. Entsprechende Untersuchungen zum Material- und Verfahreseinfluss auf die resultierenden Eigenschaften von Hybridstrukturen wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts systematisch durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass

eine möglichst hohe Einspritzgeschwindigkeit sowie ein möglichst hoher Nachdruck und damit ein hoher Anpressdruck der Schmelze zu einer höheren Zugscherfestigkeit und somit zu einer besseren Anbindung des Spritzgussmaterials führen (Abbildung 1). Entsprechende Erkenntnisse ermöglichen die Umsetzung von werkstofflichem und konstruktivem Leichtbau für neue Anwendungen mit hoher Bauteilkomplexität.

Patrick Zierdt, Ivonne Jahn



1 Prüfkörper-Werkzeuggeometrie (links) und ermittelte Zugscherfestigkeit von PPIGF-Hybridstrukturen in Abhängigkeit von den Spritzgussparametern (rechts).

LEITERPLATTENSUBSTRATE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

Gruppe

Naturstoffkomposite

Andreas Krombholz | Telefon +49 345 5589-153 | andreas.krombholz@iwmm.fraunhofer.de

Zur Verbesserung der CO₂-Bilanz von Leiterplattenmaterialien, welche klassischerweise aus Glasfaservliesen und petrochemischen Harzen aufgebaut werden, wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes eine »grüne« Leiterplatte für elektronische Komponenten mit äquivalenten Eigenschaften zu den am Markt befindlichen Systemen entwickelt. Das System basiert zu einem großen Anteil auf Werkstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und unterscheidet sich somit deutlich von dem in der Literatur verwandten Begriff der »grünen Leiterplatte«, der sich nur auf die Verwendung bleifreier Lote und halogenfreier Basismaterialien bezieht.

Werkstoffe und Verfahren

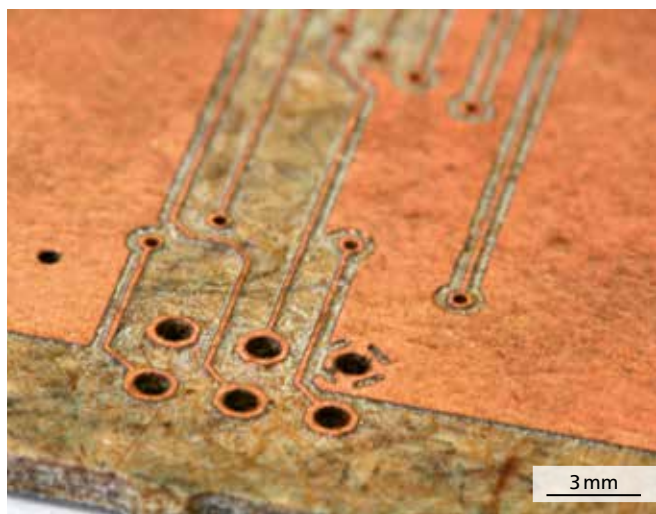
Als Trägermaterial für die Leiterplattensubstrate kommen Naturfaservliese und Naturfasergewebe aus Flachs- und Hanffasern oder Systeme aus technischen Viskosefasern zum Einsatz. Die Imprägnierung der Faservliese und Fasergewebe erfolgt mit wasserbasierten und formaldehydfreien Acrylatharzen oder einem im Rahmen der BioÖkonomie produzierten ligninbasierten Resol (Ligninanteil bis zu 20 Prozent). In einem ersten Schritt erfolgt die Herstellung eines PrePreg, welches dann unter geeigneten Drücken und Temperaturen mit der bis zu 18 µm dünnen Kupferlage zu einer Leiterplatte verpresst wird (Abbildung 1). Je nach verwendetem Harzsystem sind spezifische Verfahrensparameter, wie beispielsweise zusätzliche Entlüftungshübe und ein Abkühlen vor der Entformung, einzuhalten.

Charakterisierung der Leiterplattensubstrate

Die Bestimmung der Haftfestigkeit der Kupferlagen auf den unterschiedlichen Substraten erfolgte mittels eines Schältests

in Anlehnung an die IPC-TM-650-2.4.8. Die Haftfestigkeit wurde an den Hanf/Flachs-Substraten mit Acrylatharzbasiertem Bindemittel mit einer 18 µm starken Kupferlage zu $(0,55 \pm 0,05)$ N/mm bestimmt. Zur Einschätzung des Brandverhaltens wurden experimentelle Untersuchungen nach der UL 94 HB und der UL 94 V durchgeführt. Die entwickelten Leiterplattensubstrate mit Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen die Prüfungen und können somit als UL 94 HB klassifiziert und nach UL 94 V in die beste Brennbarkeitsklasse V-0 eingeordnet werden.

Andreas Krombholz, Nicole Eversmann



1 Strukturierung einer einseitig kaschierten grünen Leiterplatte mittels Fräsen (Leiterplattensubstrat 3 mm aus Flachs/Hanfvlies und Acrylatharz).



GESCHÄFTSFELDLEITER

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

Fokus

Für unsere Kunden aus der Medizintechnik, der Pharmazie, der Biotechnologie und der Kunststoffverarbeitung entwickeln wir Oberflächenmodifizierungs- und Beschichtungsverfahren zur Erzeugung von biofunktionalen Oberflächen. Wir bewerten die mechanischen, morphologischen und chemischen Eigenschaften von biologischen und biomedizinischen Materialien und verwenden verschiedene Technologien zu deren Funktionalisierung. Wir gestalten spezielle mechanische Messplätze, um einen Beitrag zur Verbesserung der Strukturbiokompatibilität von Implantatmaterialien zu leisten. Die Mikrostruktur von medizintechnisch relevanten Polymermaterialien untersuchen wir mithilfe von speziellen elektronenmikroskopischen Präparations- und Untersuchungsmethoden.

Bemerkenswertes aus 2014

Der im Vorjahr abgeschlossene Strategieprozess und seine Umsetzung in diesem Jahr führten zu einer erfolgreichen Entwicklung des Geschäftsfelds. Die geplante Positionierung in neuen Marktsegmenten und die Neuaufnahme von Themen, die sowohl wissenschaftlich exzellent als auch industriennah sind, war erfolgreich. Wir konnten einige strategisch wichtige Neukunden gewinnen, die Stammkunden blieben weiterhin von unserer Leistungsfähigkeit überzeugt. Erstmals wurde im Geschäftsfeld ein Industrieertrag von mehr als einer Million Euro erwirtschaftet, was einem Anteil von mehr als 40 Prozent am Gesamtaufwand entspricht.

Ein wichtiger Themenschwerpunkt ist die innovative Anwendung von Atmosphärendruck-Plasmatechnologien für die funktionelle Ausrüstung von Kunststoffen. Wir stellen immer häufiger fest, dass wir diese Technologie nicht nur für vorhandene Anwendungsfelder im Bereich Kunststoffverpackungen optimieren können. Auch bei der Ausrüstung von Umkehrosmose-Membranen mit Antifouling-Funktionalitäten, die wir für unseren Industriepartner IAB Bitterfeld entwickelt haben, ist die Plasmabehandlung ein entscheidender Prozessschritt. Hier konnten wir mehrere Projekte erfolgreich abschließen und einen Teil der Entwicklungen gemeinsam mit dem Industriepartner zum Patent anmelden.

» Unsere erfolgreiche wirtschaftliche Entwicklung 2014 zeigt, dass besonders die aktuellen Themenschwerpunkte zu plasmagestützten und nasschemischen Beschichtungsverfahren und zur Entwicklung von in vitro-Modellen zur Bewertung von medizinischen Pflegeprodukten neue Kunden interessiert und dass wir damit am Forschungsmarkt richtig positioniert sind.«

BIOLOGISCHE UND MAKROMOLEKULARE MATERIALIEN

Gruppen



Technologien für biofunktionale Oberflächen

Wir charakterisieren und optimieren die Oberflächeneigenschaften von Polymerbauteilen und -folien und entwickeln Verfahren zur inline-Diagnostik. Durch die Beschichtungen steuern wir gezielt die Biofunktionalität und reduzieren beispielsweise die Biofilmbildung.

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



Charakterisierung von medizinischen und kosmetischen Pflegeprodukten

Mit maßgeschneiderter Analytik und effizienten Testmodellen für Wirkstoffe, Mundpflegeprodukte, Therapeutika und Dentalmaterialien entwickeln wir Lösungen für die Entwicklung zahnmedizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte.

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



Bewertung von Materialien der Medizintechnik

Wir untersuchen und bewerten morphologische Eigenschaften biologischer und biomedizinischer Materialien sowie von Kunststoffen der Medizintechnik, nutzen dafür spezielle Präparationstechniken sowie Abbildungsmethoden und beschreiben ihr Einsatzverhalten.

Dr. Sven Henning | sven.henning@iwmh.fraunhofer.de

SENSIBLE ZÄHNE: WIRKSAMKEITSPRÜFUNG VON ZAHNPFLEGEMITTELN

Gruppe

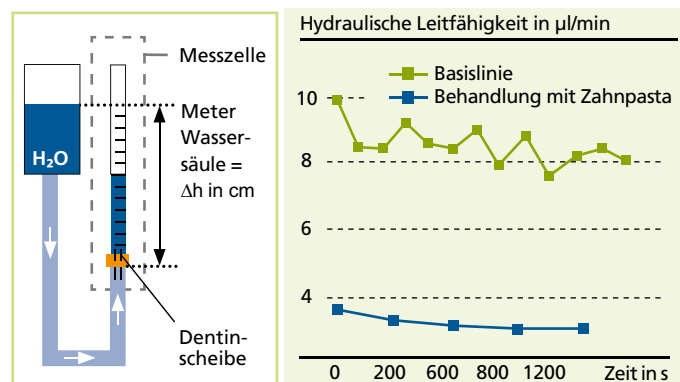
Charakterisierung medizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte

Dr. Andreas Kiesow | Telefon +49 345 5589-118 | andreas.kiesow@iwmh.fraunhofer.de

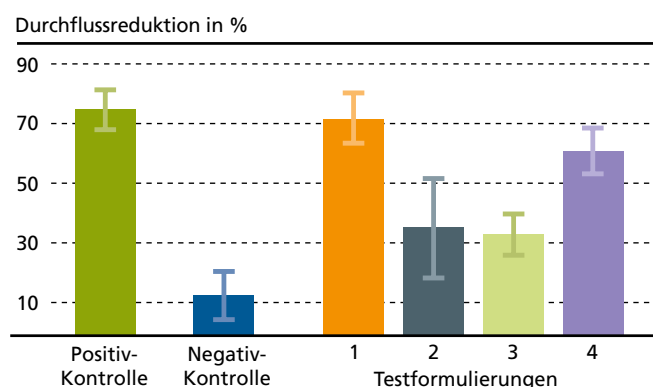
Die Überempfindlichkeit von Zähnen ist ein verbreitetes Phänomen, das sich bei Kontakt mit heißen oder kalten Speisen oder der Zahnbürste durch einen plötzlichen Schmerz äußert. Ursache ist ein Rückgang des Zahnfleisches durch chronische Entzündung oder falsche Putzgewohnheiten. Dadurch wird der Zahnhals aus Dentin, das von Tubuli (Kanälchen) durchzogen ist, ungeschützt exponiert. Die flüssigkeitsgefüllten Tubuli bilden eine Verbindung zum Zahninneren, durch die externe Reize an den Zahnnerv weitergeleitet werden.

Für die Mund- und Zahnpflegeindustrie ergibt sich aus diesem Problemfeld ein weltweit wachsendes Marktsegment. Die Anforderung an schmerzverhindernde beziehungsweise -lindernde Produkte ist allerdings hoch, da die Wirkung vom Anwender direkt nachvollziehbar ist. Für den endgültigen Wirksamkeitsbeleg sind klinische Studien nötig. Da diese sehr aufwendig sind, braucht die Industrie Modelle, um Wirkstoffe und Rezepturen bereits während der Entwicklung prüfen zu können.

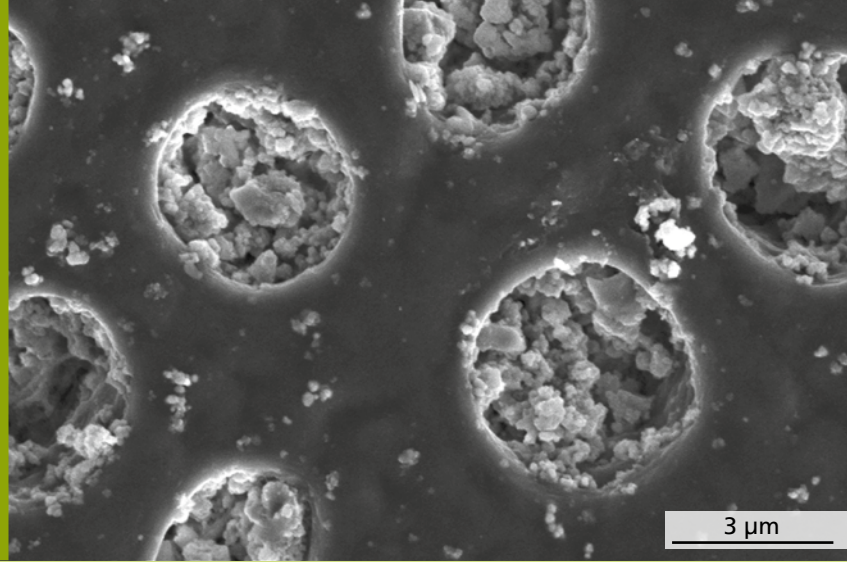
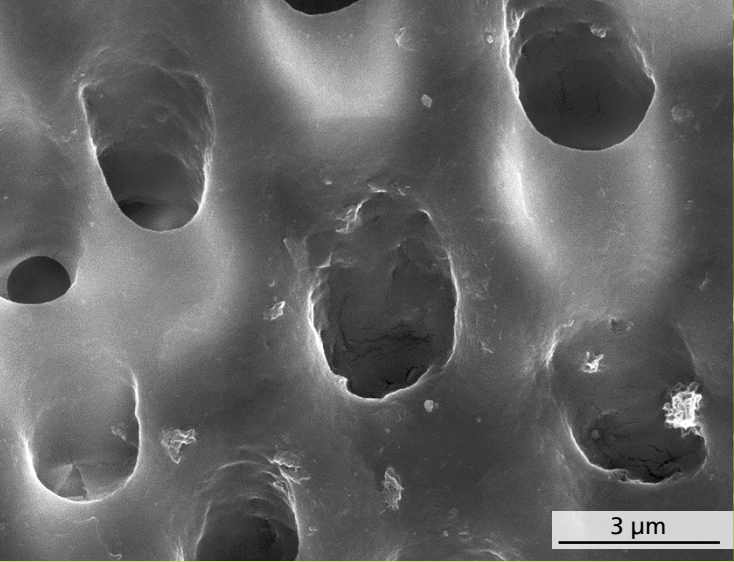
Der dominierende therapeutische Ansatz zielt auf den mechanischen Verschluss der Tubuli und damit auf die Unterbrechung der Reizweiterleitung zum Zahnnerv. Bei Zahnpasten oder Mundspüllösungen wird meist versucht, den Verschluss durch Ausfällung von schwerlöslichen Substanzen zu erreichen. Besonders geeignet scheinen Substanzen, die eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegenüber Säuren und mechanischem Abrieb haben.



1 Am Fraunhofer IWM entwickeltes Durchflussmodell zur Bewertung der Tubuli-verschließenden Wirkung von Mund- und Zahnpflegeprodukten.



2 Vergleich einer Basis-Zahnpasta mit unterschiedlichen Testformulierungen bezüglich ihrer Durchflussreduktion.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Dentin vor (links) und nach (rechts) einer Behandlung mit einer desensibilisierenden Zahnpasta.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit unserem Auftraggeber Colgate-Palmolive wurde ein Konzept zur Bewertung der Tubuli-verschließenden Wirkung von Mund- und Zahnpflegeprodukten entwickelt. Dabei wird ein morphologischer Ansatz, in dem der Verschluss abbildend und chemisch charakterisiert wird, mit einer Durchflussmessung am Dentin kombiniert.

Der morphologische Ansatz dokumentiert die Wirkung durch Mikrostrukturanalyse und Visualisierung in aussagekräftigen Abbildungen. Die Durchflussmessung erlaubt als quantifizierbare Methode den Vergleich von Rezepturen im Entwicklungsprozess. Hier geht man nach dem hydrodynamischen Modell davon aus, dass die Verringerung der Permeabilität beziehungsweise der hydraulischen Leitfähigkeit des Dentins mit der Reduktion der Schmerzempfindlichkeit korreliert.

In Weiterentwicklung des Modells von Pashley wurde ein Testmodell basierend auf einer Durchflussmesszelle entwickelt, mit der die hydraulische Leitfähigkeit von Dentin bestimmt werden kann (Abbildung 1). Dazu wird Dentin aus Backenzähnen, die aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert wurden, präpariert, indem die Wurzel und die Zahnkrone abgetrennt werden und das erhaltene Mittelstück zu einer 500 µm dicken Scheibe geschliffen wird. Eine anschließende Behandlung mit Zitronensäure öffnet die Tubuli, welche im Idealfall senkrecht zur Oberfläche liegen und die Probe vollständig durchlaufen, was einen Mediendurchfluss ermöglicht.

Zur quantitativen Bewertung der Tubuli-verschließenden Eigenschaften wird die hydraulische Leitfähigkeit der Dentinprobe vor (Basislinie) und nach einer Behandlung mit dem Testprodukt gemessen und die Differenz (Durchflussreduktion) prozentual bestimmt. Diese Reduktion der hydraulischen Leitfähigkeit dient als Maß für den Tubulverschluss und die desensibilisierende Wirkung des Produkts. Das Modell erlaubt zusätzlich die Integration von mechanischen und Säure-Angriffen in den Testablauf.

Ergebnisse

Das vorgestellte Konzept eignet sich durch die Kombination von Visualisierung, chemischer Charakterisierung und quantitativer Messung hervorragend zur Begleitung der Produktentwicklung bei Industriepartnern.

Beispielhaft sind in Abbildung 2 die Ergebnisse der Prüfung einer in der Entwicklung stehenden Zahnpasta dargestellt. Verglichen wurden vier unterschiedliche Formulierungen mit einer bereits auf dem Markt eingeführten Zahnpasta mit klinisch belegter Wirkung (Positiv-Kontrolle) und einem Placebo als Negativ-Kontrolle. Das Ziel einer mindestens ebenso hohen Durchflussreduktion wie die der Positiv-Kontrolle wurde bei einer Formulierung (oranger Balken) erreicht und in den rasterelektronenmikroskopischen Bildern dokumentiert.

Maria Morawietz, Dr. Andreas Kiesow

PLASMAMODIFIZIERTE KUNSTSTOFFFOLIEN FÜR EFFIZIENTEN FARBDRUCK

Gruppe

Technologien für Biofunktionale Oberflächen

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

Das Atmosphärendruck-Plasma der dielektrischen Barrierenentladung, bekannt als Coronaentladung, ist zur Aktivierung von Folienoberflächen industriell etabliert. Die erreichbaren Oberflächeneigenschaften sind allerdings bei einigen Polymeren für weitere Verarbeitungsschritte nicht ausreichend. Ein neuer Lösungsansatz ist, die Behandlungsatmosphäre gezielt gaschemisch zu verändern: Über die Zugabe von Präkursoren lassen sich chemisch fest gebundene, dreidimensional vernetzte, funktionelle Plasmapolymerschichten erzeugen und damit die Oberflächeneigenschaften der Folien den Anwenderwünschen anpassen.

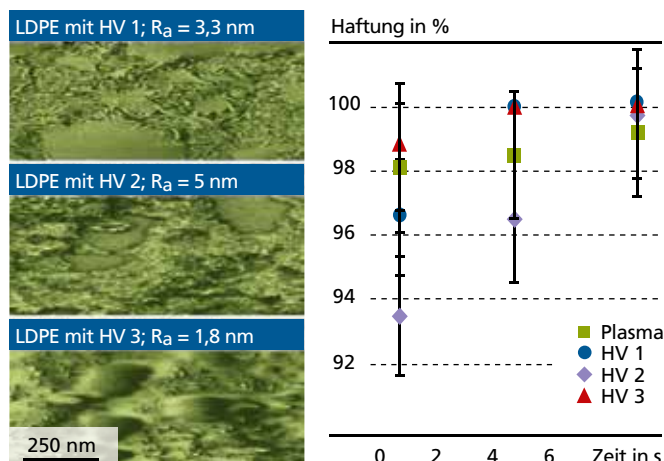
Haftungsoptimierung

Beim Projektpartner POLIFILM EXTRUSION GmbH soll der für die Haftung kommerzieller Flexo- und UV-Druckfarben notwendige zweistufige Vorbehandlungsprozess von Aktivierung und nasschemischem Haftvermittlerauftrag durch eine einstufige Aerosol-unterstützte, dielektrische Barrierenentladung zu ersetzt werden. Hierfür werden Haftvermittlerlösungen als wässrige Dispersionen mittels Ultraschall vernebelt und über Druckluft der Entladung hinzugefügt.

Mit diesem Verfahren werden an einer Laboranlage am Fraunhofer IWM sehr dünne, funktionelle Haftvermittlerschichten auf Polyethylen niederer Dichte (LDPE) erzeugt. Die Schichtabscheidung wird über die Variation der Behandlungsintensität für den nachfolgenden Farbauftrag optimiert. Die resultierenden Oberflächen werden morphologisch und chemisch charakterisiert. Zudem wird die Oberflächenenergie bestimmt. Die Adhäsion der anschließend im Labor durch

Spiralraketelbeschichtung aufgetragenen Farben wird nach einem Tape Test optisch und analytisch quantitativ bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass homogene Haftvermittlerschichten auf den LDPE-Substraten realisiert werden können (Rasterkraftmikroskopie, Phasenkontrastabbildung von Abbildung 1), die die Farbhafteung signifikant verbessern. Neben den verbesserten Schichteigenschaften haben die Aerosol-Plasmen zusätzlich den Vorteil, den Einsatz von Chemikalien zu reduzieren und die Prozesszeiten deutlich zu verkürzen.

Sandra Richter



1 Oberflächenmorphologie von Plasmapolymerschichten mit Variation des Haftvermittlers nach je 10 s Behandlungszeit unter Angabe der quadratischen Mittenrauheit R_a (links); Druckfarbenhafteung auf LDPE in Abhängigkeit von der Plasmamodifizierungszeit ohne und mit Haftvermittler HV 1 bis 3 (rechts).

OBERFLÄCHENMODIFIZIERUNG VON KUNSTSTOFFEN DURCH NANOPRÄGEN

Gruppe

Technologien für Biofunktionale Oberflächen

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

Für viele Kunststoffanwendungen in der Biotechnologie, Medizintechnik und Optik ist eine Strukturierung der Kunststoffoberfläche im Nanometerbereich erwünscht, um Oberflächeneigenschaften wie das Benetzungsverhalten oder die optische Reflexion an den Einsatzfall anzupassen. Verschiedene Abformtechniken zur Erzeugung nanostrukturierter Oberflächen verwenden lithografisch hergestellte Stempel. Häufig ist die Herstellung dieser Stempel sehr aufwendig und vor allem sehr kostenintensiv. Ein neuer, ergänzender Ansatz zu den bislang eingesetzten Verfahren zur Erzeugung von Strukturen im Submikrometerbereich ist das Nanoprägen unter Verwendung von Abformwerkzeugen aus nanoporösem Aluminiumoxid.

Abformung nanostrukturierter Kunststoffoberflächen

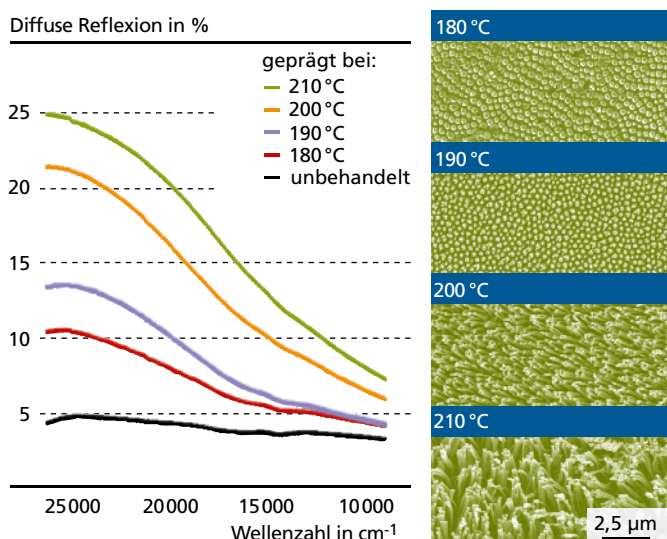
Die Herstellung der nanostrukturierten Abformwerkzeuge erfolgt durch die elektrochemische Anodisation in sauren Elektrolyten. Die erhaltene Oxidschicht auf der Werkzeugoberfläche zeichnet sich durch eine hochgeordnete Porenanordnung mit senkrecht zur Oberfläche ausgerichteten, parallelen Poren aus. Durch geeignete Wahl der Anodisierparameter lassen sich die Strukturgrößen im Bereich von einigen zehn bis hundert Nanometer gezielt einstellen. Die Nanostrukturierung der Kunststoffe erfolgt durch Thermoabformen unter Einsatz einer Heißprägeanlage.

Bewertung der neuen Oberflächen

Wie die Abbildung 1 zeigt, konnte mit diesem innovativen Verfahren eine gute Abformbarkeit der nanoporösen Strukturen auf der Kunststoffoberfläche erreicht werden. Die zum Abformwerkzeug inversen Polymeroberflächenstrukturen

variierten entsprechend den verwendeten Prozessparametern sowie den Porendurchmessern des Prägewerkzeugs in Form und Größe. Typischerweise wurden Strukturen in Form von Noppen und Fäden im Nanometerbereich mit einem Aspektverhältnis von 1:1 bis 1:400 erzeugt. Zusätzlich konnten in Abhängigkeit von der Nanostrukturgröße im sichtbaren Wellenlängenbereich die direkte Reflexion, wie in Abbildung 1 gezeigt, vermindert und die diffuse Reflexion erhöht werden, was eine Entspiegelung der Kunststoffoberfläche zur Folge hat.

Annika Thormann



1 Diffuse Reflexion (UV-Vis-Spektroskopie) von nanostrukturierten Polycarbonatoberflächen, geprägt bei unterschiedlichen Temperaturen.



GESCHÄFTSFELDLEITER

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

Fokus

Wir beschäftigen uns mit der Materialdiagnostik von Bauelementen, Komponenten und Werkstoffen der Elektronik, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologien. Ziel ist es, die Mikrostruktur, Materialwechselwirkungen oder Defektbildungen in Korrelation zu Technologie und Design sowie den Einsatzbedingungen im Detail zu beherrschen. Für unsere Kooperationspartner tragen diese Ergebnisse dazu bei, Fertigungsprozesse weiter zu entwickeln und innovative, in der Anwendung zuverlässige Bauelemente und Systeme mit hoher Qualität in den Markt zu bringen. Dafür führen wir Forschungsarbeiten zur Werkstoffcharakterisierung, mikrostrukturellen Analytik und zur physikalischen Fehlerdiagnostik sowie zur mechanischen Bewertung durch. Gleichzeitig entwickeln die auch dafür erforderlichen Tests, Diagnostik- und Modellierungsverfahren sowie die zugehörige Technik weiter.

»Die Innovation im Auto wird durch eine schnell anwachsende und zunehmend komplexere Elektronik bestimmt. Gemeinsam mit unseren Industriepartnern sehen wir das gleichzeitig als Zukunftschance und als Herausforderung für unsere Forschungsarbeiten.«

Bemerkenswertes aus 2014

2014 konnten wir vielfältige Kooperationsprojekte mit unterschiedlichen Zulieferfirmen der Automobilelektronik erfolgreich abschließen. Unsere Industriepartner haben die erarbeiteten Ergebnisse direkt in der Serienfertigung von neuen Sensorsystemen und elektronischen Steuerungen umgesetzt, zum Beispiel für Powertrain, Sicherheit oder Infotainment. Die Resultate unserer Arbeit sind daher schon heute in zahlreichen Automobilen weltweit im Einsatz.

Für zukünftige Hochperformance-Bauelemente neuer Fahrerassistenz- und Infotainmentfunktionen im zunehmend vernetzten Automobil greifen wir auf unsere Vorleistungen zur Fehlerdiagnostik für die 3D-Integration der Elektronik zurück. Gemeinsam mit Partnern des Forschungsprojekts ESIP wurden wir dafür auf dem European Nanoelectronics Forum in Barcelona mit dem ENIAC Innovation Award ausgezeichnet. Das Thema Die Fehlerdiagnostik stand auch im Mittelpunkt unseres 3. internationalen CAM-Industrieworkshops. Hier stellten wir unter anderem zwei gemeinsam mit Geräteherstellern entwickelte neue Diagnostik-Tools vor: ein rasterakustisches Mikroskop für den GHz-Bereich und ein Laserpräparationstool für die Elektronenmikroskopie. Beide Systeme sind mittlerweile auf dem Markt.

KOMPONENTEN DER MIKROELEKTRONIK UND MIKROSYSTEMTECHNIK

Gruppen



Bewertung elektronischer Systemintegration

Um die Fertigungsqualität im Packaging und Zuverlässigkeit im Einsatz zu sichern, analysieren wir Fehlermechanismen in Werkstoffen und Komponenten der Aufbau- und Verbindungstechnik mikroelektronischer Automobil- und Leistungselektronik.

Sandy Klengel | sandy.klengel@iwmh.fraunhofer.de



Nanomaterialien und Nanoanalytik

Wir charakterisieren die Mikro- und Nanostruktur von Materialien und Systemen glaskeramischer, optischer und magnetischer Werkstoffe sowie Materialien der Nanotechnologie. Zudem entwickeln wir artefaktfreie Hochdurchsatz-Präparationsverfahren für die Mikrostrukturdiagnostik.

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



Diagnostik Halbleitertechnologien

Wir betreiben Ursachenforschung für Materialwechselwirkungen, Defekte und funktionale Fehlerursachen in mikroelektronischen integrierten Schaltkreisen und Halbleiter-Bauelementen und setzen dafür sehr leistungsfähige, hochauflösende Analysetechniken ein.

Frank Altmann | frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de

HOCHLEISTUNGSFÄHIGE NANOELEKTRONIK MIT THROUGH SILICON VIAS

Gruppe

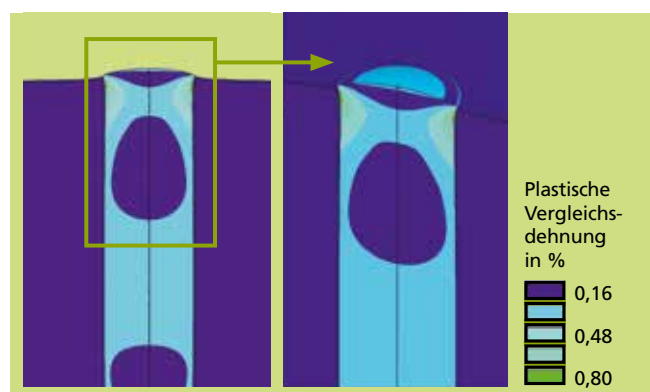
Diagnostik Halbleitertechnologien

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

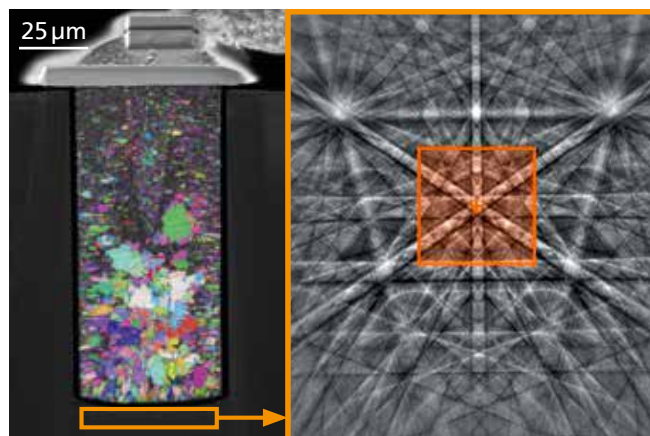
Vertikale Chipkontaktierungen durch den Halbleiter (Through Silicon Vias, TSV) stellen eine zukünftige Schlüsseltechnologie für den Aufbau komplexer und hochleistungsfähiger 3D-integrierter Systeme der Nanoelektronik dar. Für die entwicklungsbegleitende Prozesskontrolle sowie Sicherung einer hohen Fertigungsqualität und Zuverlässigkeit von TSV-Kontakten werden neue und innovative Diagnostiktechniken benötigt.

Fehleranalytik für Through Silicon Vias

Bei der Herstellung von TSVs werden Durchführungen in den Halbleiter geätzt, diese am Rand mit einer dünnen Siliziumoxidschicht isoliert, danach eine Diffusionsbarriere und weiterhin eine Keimschicht für die folgende galvanische Kupfer-Füllung abgeschieden. Ein dabei auftretender Defektmechanismus ist die Hohlräumbildung innerhalb des Metalls. Für eine zerstörungsfreie TSV-Inspektion wurde ein Detektionsverfahren basierend auf der akustischen Ghz-Mikroskopie entwickelt. Mit ihm können hohlraumartige Defekte in μm -großen TSV-Geometrien nachgewiesen werden. Ein weiteres TSV-Fehlerrisiko stellen Schwachstellen in der elektrischen Randisolierung dar. Mit einer Kombination aus Lock-in-Thermographie und Stromabbildung im Rasterelektronenmikroskop war es möglich, derartige leckstromverursachende Defekte innerhalb der dreidimensionalen Lochgeometrie exakt zu lokalisieren. Für die großflächige Inspektion solcher Schwachstellen wurde ein selektives nasschemisches Rückätzverfahren erfolgreich erprobt. So können TSV-Kontakte freigelegt und anschließend hochauflösend inspiziert werden. Als weitere neue Präparationstechnik wurde



1 FEM-Simulation der plastischen Verformung infolge thermomechanischer Eigenspannungen.



2 EBSD an TSV zur Bestimmung des Cu-Korngefüges (links) sowie Kikuchi-Beugungsbild zur Analyse der eigenspannungsbedingten Gitterverzerrung im Silizium (rechts).

TSV-Arrays, freigelegt für die Analytik durch selektive chemische Präparation.

ein Laser-Tool zur μm -präzisen und zeiteffizienten Herstellung von Zielquerschnitten für die elektronenoptische Analyse entwickelt. Mittels Laser-Ablation werden Querschnitte durch den gesamten TSV vorpräpariert und anschließend mittels Hocheffizienz-Plasma-FIB poliert. In Kombination beider Techniken konnten die Präparationszeit signifikant reduziert und damit komplette TSV-Strukturen für die Analyse zugänglich gemacht werden. Damit wird auch eine Untersuchung des Korngefüges der Kupfer-Füllung mittels Rückstreuелектроненбеугungs-Analyse (EBSD, Abbildung 2 links) ermöglicht, die für die Bewertung von Zuverlässigkeit und Einsatzverhalten der TSV wesentlich ist.

Bestimmung lokaler Eigenspannungen

Aufgrund der thermomechanischen Fehlanpassung zwischen Kupfer und Silizium entstehen in TSV-Strukturen hohe lokale Eigenspannungen, die ein Herausdrücken des Metalls und Rissdefekte im Chip verursachen können. Für eine Risikoabschätzung und vergleichende Bewertung von Prozessvarianten wurde die Verteilung von Eigenspannungen im TSV mittels Finite-Elemente-Simulation analysiert (Abbildung 1). Für die Messung der lokalen Eigenspannungsverteilung ist parallel dazu ein Verfahren zur lokalen Messung der Gitterverzerrung im Silizium basierend auf Elektronenrückstreubeugung (EBSD) weiterentwickelt worden. Mit einem neuen Bildanalysealgorithmus können Kikuchi-Beugungsbilder von Referenz- und Messposition präzise verglichen und daraus die dreidimensionale Gitterverzerrung bestimmt werden (Abbildung 2 rechts). Aktuell

wird diese Technik für die Messung der Eigenspannungsverteilung am TSV-Kontakt evaluiert, um die FEM-Modelle zu verifizieren.

Ausblick

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IZM-ASSID, mit RTI International (USA) sowie mit Firmenpartnern unterstützen die neu entwickelten Analyseverfahren die technologische Entwicklung von qualitätsgerechten TSV-Kontaktierungen der mikroelektronischen 3D-Integration. Die innovativen Diagnostikkompetenzen des Geschäftsfeldes werden zukünftig auch für die Analyse von Zuverlässigkeitsrisiken und des Einsatzverhaltens von 3D-integrierten Bauelementen der Nanoelektronik für verschiedene Anwendungsfelder eingesetzt werden.

Frank Altmann

FÜR ZUVERLÄSSIGE AUTOMOBILELEKTRONIK UND SPEICHERTECHNIK

Gruppe

Bewertung elektronischer Systemintegration

Sandy Klengel | Telefon +49 345 5589-125 | sandy.klengel@iwmh.fraunhofer.de

Elektronische Bauelemente stellen Schlüsselkomponenten für die Erhöhung von Energieeffizienz und Lebensdauer für die Automobil-, Industrie- und Energietechnik dar. Intensive Einsatzbelastungen infolge von äußeren Temperaturschwankungen, Vibration und Feuchte sowie durch verlustbedingte innere Wärmebelastung führen zu enormen Beanspruchungen während des Einsatzes, insbesondere für die Aufbau- und Verbindungstechnik. Um industriellen Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit gerecht zu werden, sind daher neue temperaturstabile Werkstoffsysteme für die Kontaktierung und Montage von Halbleitern und Substraten in leistungselektronischen Modulen und Systemen erforderlich.

Silbersinterverbindungen in der Leistungselektronik

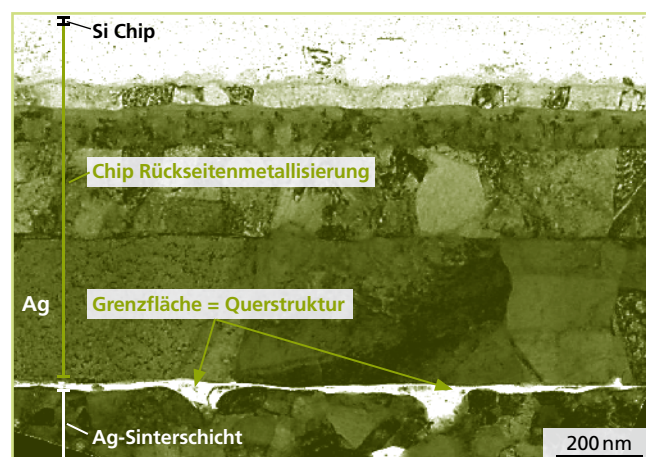
Die Verbindungstechnik mittels Silbersintern bietet hohes Potenzial für eine deutliche Steigerung von Lebensdauer sowie elektrischen und thermischen Kontakteigenschaften als Alternative zum Weichlöten. Ein technischer Einsatz in der Massenfertigung erfordert jedoch, die prozess- und materialbedingten Ursachen für Schwankungen der Kontaktierungsqualität zuverlässig zu beherrschen. In Kooperation mit Industriepartnern wurden – finanziell gefördert durch das European Center for Power Electronics GmbH (ECPE) – Untersuchungen durchgeführt, die eine Analyse von Materialreaktionen und Defektmechanismen in den Grenzflächen zwischen Silbersinterschicht und den unterschiedlichen Chip- beziehungsweise Substratmetallisierungen zum Ziel hatten. Dabei kamen hochaufgelöste, nanoanalytische Diagnostikmethoden der Elektronenmikroskopie und Spurenanalytik zur Anwendung. Als haftungsmindernde Ausfallmechanismen und Ursachen

von Delaminationen wurden die Bildung von Silbersulfid (Abbildung 1), oxidierte Basismetallisierungen sowie dünne organische Kontaminationsschichten identifiziert.

Ausblick

Die neu erarbeiteten Erkenntnisse zur Silbersinter-technologie sollen zukünftig zur Entwicklung qualitätsgerechter, hochzuverlässiger Leistungselektronik-Komponenten beitragen. Einsatzmärkte reichen von Automobilelektronik und Elektromobilität bis zur elektrolytischen Erzeugung von Wasserstoff als temporärer Energiespeicher im Rahmen der geplanten HYPOS-Initiative.

Bianca Böttge, Sandy Klengel



1 Transmissionselektronenmikroskopische Abbildung der Grenzfläche zwischen Chiprückseitenmetallisierung und Silbersinterschicht mit Delamination.

NANOANALYTIK KOMPLEXER MULTIMATERIALVERBÜNDE

Gruppe

Nanomaterialien und Nanoanalytik

Prof. Dr. Thomas Höche | Telefon +49 345 5589-197 | thomas.hoeche@iwmm.fraunhofer.de

Neue Funktionalitäten elektronischer, optischer, elektrochemischer oder magnetischer Systeme erfordern den Einsatz komplexer nanostrukturierter Multimaterialverbünde. Im Rahmen der technologischen Entwicklung begleitenden Diagnostik müssen solche hybriden Systeme und Komponenten geeignet präpariert und mit hohem Durchsatz hochauflösend mikrostrukturell bewertet werden. Anwendungsbeispiele reichen von Komponenten der Automobilelektronik, Bauelementen der Nanoelektronik sowie LEDs der organischen Elektronik bis zu optischen Systemen, elektrochemischen Energiewandlern und Permanentmagneten.

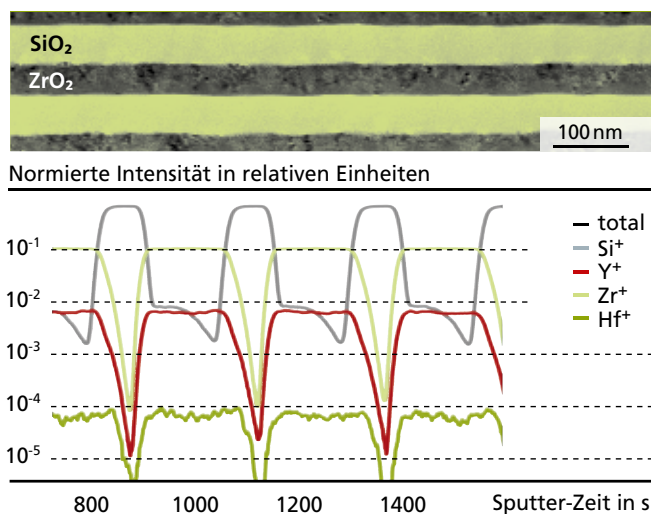
Kombination komplementärer Techniken

Optische Funktionseigenschaften, etwa ein für die jeweilige Anwendung genau angepasstes, lichtwellenlängen- und einfallswinkelspezifisches Reflexionsvermögen, können beispielsweise durch die Erzeugung von ZrO_2 - SiO_2 -Dünnschichtsystemen mit amorph-polykristalliner Wechselschichtfolge eingestellt werden. Prozessoptimierung und Fertigungsüberwachung erfordern einerseits eine genaue Kenntnis der Elementverteilung und andererseits eine sub-nm-präzise Kontrolle der Schichtdicken und des Kristallisationsgrades. Da beide Aspekte nicht in einem einzigen Diagnostikverfahren analysierbar sind, werden im Geschäftsfeld dafür Flugzeit-Sekundärionenmassenspektrometrie (ToF-SIMS) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) kombiniert. Die in Abbildung 1 dargestellten Ergebnisse der TEM-Analyse liefern die benötigten Informationen über Schichtmorphologie und Mikrostruktur auf der Nanometerskala. Das ToF-SIMS-Tiefenprofil gibt Aufschluss über die zugehörige Elementverteilung im ZrO_2 - SiO_2 -Schichtstapel.

Gerüstet für zukünftige Herausforderungen

Basierend auf systematisch weiterentwickelten Präparationsansätzen wird eine immer größere Breite hybrider Materialsysteme für die mikrostrukturdiagnostische Hochdurchsatz-Nanoanalytik erschlossen. Neben Erfahrungen an elektronischen Komponenten liegen erste Ergebnisse bereits auch an Magnetverbindungen sowie an Brennstoffzellen vor, die im Rahmen des 2013 gestarteten Fraunhofer-Leitprojekts Kritikalität Seltener Erden beziehungsweise des geplanten Zwanzig20-Projekts HYPOS zukünftig weiter ausgebaut werden sollen.

Dr. Christian Patzig



1 Dünnschichtsystem mit Wechselschichtfolge für optische Bauelemente: TEM-Hellfeld-Aufnahme (oben), entsprechendes ToF-SIMS-Profil (unten).



LEITER FRAUNHOFER CSP UND ABTEILUNGSLEITER ZTN

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

Fokus

Das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP betreibt angewandte Forschung im Bereich der Solarmodule und Solarwafer. Mit höchster Kompetenz entwickeln wir neue Technologien von der Waferherstellung bis zur Modulfertigung und beschäftigen uns mit der Entwicklung neuer Materialien entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Ferner führen wir Fertigung und Bewertung von Modulen sowie elektrische, optische und mikrostrukturelle Material- und Bauteilcharakterisierung durch. Hierfür stellen wir hochmoderne Forschungs- und Analysegeräte zur Verfügung. Entwicklungen im Bereich der Siliziumkristallisation betreiben wir im Fraunhofer CSP-Labor für Kristallisationstechnologie. Im CSP bündeln das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ihre Kompetenzen.

» Wir untersuchen die Zuverlässigkeit von Materialien und Komponenten von Solarzellen und -modulen, führen Ertragsanalysen von Solarmodulen durch und entwickeln darüber hinaus Verfahren zur Herstellung von Siliziumwafern und Solarmodulen.«

Bemerkenswertes aus 2014

Ein Forschungsschwerpunkt war die Weiterentwicklung des Leitthemas »Moduldefekt«, des physikalischen Verständnisses von Ausfallursachen von Solarmodulen. Das als »physics of failure« bezeichnete Wissen bietet die Grundlage, um Ausfälle zu vermeiden, indem die Degradation simuliert und damit vorhergesagt werden kann. Ein Beispiel dafür ist die Untersuchung der potenzialinduzierten Degradation (PID), die in diesem Jahr in der Erteilung eines Patents für einen PID-Zellenprüfstand mündete. Er wird in Lizenz von der Firma Freiberg Instruments vertrieben.

Neben der mikrostrukturellen Bewertung von Fehlern und dem Test von Solarmodulen im Labor ist auch der Test von Solarmodulen unter realen Umgebungsbedingungen notwendig. Hierfür haben wir unsere Kapazitäten erweitert und zusätzlich zu dem bestehenden Freifeldteststand eine Prüffläche auf dem neuen Technikumsgebäude errichtet, auf der bis zu 50 Module geprüft werden können. Des Weiteren haben wir die Planung und die Unterstützung des Aufbaus einer Freifeldmessplattform für das marokkanische Forschungsinstitut IRESEN abgeschlossen. Es ist nun möglich, gemeinsam mit IRESEN Solarmodule unter dortigen Einsatzbedingungen zu bewerten.

Auf den ersten PV Days, die mit mehr als 150 Teilnehmern (93 Industrievetreter, 30 internationale Gäste) sehr gut besucht waren, wurden Fragen der Modulzuverlässigkeit angeregt diskutiert.

FRAUNHOFER-CENTER FÜR SILIZIUM-PHOTOVOLTAIK CSP

Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität ZTN

Gruppen



Diagnostik Solarzellen

Wir charakterisieren Solarzellen elektrisch, analysieren Spurenelemente der Materialien und Prozessstoffe und diagnostizieren Mikrostrukturdefekte im Modul. Zudem entwickeln und charakterisieren wir Schichtsysteme und Laserstrukturen für Solarzellen der nächsten Generation.
Dr. Christian Hagendorf | christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de



Modulzuverlässigkeit

Wir untersuchen Solarmodule hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit, optimieren sie und entwickeln technologische Prozesse weiter, auch mithilfe mechanischer Finite-Elemente-Simulation von Modulen. Wir bieten umfassende, einzigartige Modulcharakterisierungen aus einer Hand.
Dr. Matthias Ebert | matthias.ebert@csp.fraunhofer.de



Siliziumwafer

Um die Ausbeute zu erhöhen, entwickeln wir Verfahren zur Herstellung dünner Siliziumwafer und bewerten die Eigenschaften von Wafern und Solarzellen. Wir betrachten die gesamte Prozesskette: von Vereinzelungen von Ingots über Wafersägen bis zur Messung und Sortierung.
Prof. Dr. Stephan Schönfelder | stephan.schoenfelder@csp.fraunhofer.de



Modultechnologie

Wir entwickeln Herstellungsprozesse, neuartige Solarmodule und Materialien vom Labormaßstab bis zur industriellen Größe mit Analytik zu elektrischen Verbindungen, Polymerkomponenten und optischen Eigenschaften sowie mit optischen und elektrischen Simulationen.
Prof. Dr. Jens Schneider | jens.schneider@csp.fraunhofer.de

ZUVERLÄSSIGE MODULE – LERNEN AUS SCHÄDEN UND ERTRAGSANALYSEN

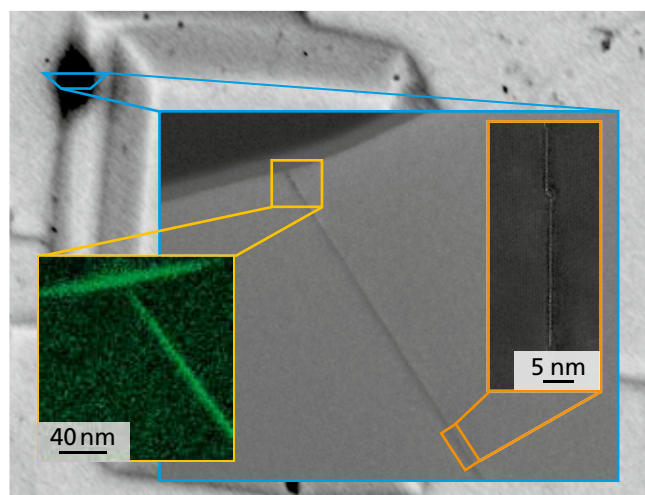
Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP

Prof. Dr. Jörg Bagdahn | Telefon +49 345 5589-5100 | joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

Hohe Erträge, Langlebigkeit und Zuverlässigkeit sind die entscheidenden Qualitätsmerkmale von Solaranlagen im Betrieb. Das Solarmodul – als wichtigste Komponente – muss über einen Zeitraum von mehr als 25 Jahren klimatischen Bedingungen und Stressfaktoren ohne Ausfälle und Degradationserscheinungen standhalten. Daher hat das Fraunhofer CSP das »Schadenszentrum PV« etabliert. Dort laufen umfassende Analysen aller Schadenstypen in PV-Systemen mit der gebündelten, langjährigen Erfahrung in Diagnostik, Zuverlässigkeits- und Performance-Bewertung. Wirksame Strategien und Tests zur Fehlervermeidung kommen so aus einer Hand und gewährleisten eine lange Lebensdauer der Solarmodule.

»physics of failure« – Ursachenforschung

Ausfälle von Solarmodulen lassen sich in vielen Fällen auf das Versagen von einzelnen Komponenten zurückführen. Unter Betriebsbedingungen stehen die Modulmaterialien unter elektrischen, mechanischen, thermischen Belastungen, bis es mitunter an mikroskopischen Strukturen zum Bruch oder Kurzschluss kommt. Bruchmechanische Messungen und Simulationen zeigen, dass meist die Solarzellenverbinder die Ausgangspunkte für Brüche und Risse im PV-Modul sind. Auf der Basis eines detaillierten Verständnisses zur Entstehung von Rissen und Brüchen können neue Materialkombinationen oder Verarbeitungstechnologien entwickelt werden, die künftige PV-Module noch widerstandsfähiger machen. Näheres dazu wird im Beitrag »Bruch und mechanische Zuverlässigkeit der Solarzellen im Modul« dargestellt.



1 *Atomare Struktur des Materialdefekts für die potenzialinduzierte Degradation-PID (links).*



2 *Voll- (links) und Halbzell- (rechts) Module im Freifeldtest (1,10 x 2,00 m).*



*Freifeld für Photovoltaikmodule zur Ertragsmessung
auf dem Dach des Fraunhofer CSP.*

Modulalterung und Schnelltests

Im Freifeld sind Solarmodule jahrelang Wind, Feuchte und Temperaturschwankungen ausgesetzt. Defekte können sich über eine lange Zeitspanne entwickeln, bis der Anlagenbetreiber aufmerksam wird. Im Labor gelingt es, diese Vorgänge durch beschleunigte Alterung nachzustellen. Viele Fehlerbilder wie zum Beispiel Zell-Risse oder sogenannte »Schneckenspuren« lassen sich mit Testaufbauten in kürzester Zeit provozieren. In Kooperation mit Material- und Modulherstellern werden solche Tests systematisch durchgeführt und helfen bei der Materialentwicklung für Schneckenpur-resistente Module. Der Beitrag »Schneckenspuren in PV-Modulen sind vermeidbar« beschreibt exemplarisch die Ursachenaufklärung an einem typischen Moduldefekt.

Aus dem wissenschaftlichen Verständnis der Merkmale und Entstehung von Defekten in Solarmodulen gelingt es, geeignete Testverfahren zu entwickeln, die frühzeitig bei der Auswahl und Entwicklung von Materialien für die Solarmodulherstellung eingesetzt werden können. Das Beispiel der Potenzial-induzierten Degradation (PID) von Solarmodulen zeigt das komplexe Zusammenwirken verschiedener Faktoren, die zum Totalausfall führen können. Neben den Umgebungsbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, elektrische Spannung) liegt die Ursache für PID in der Auswahl der Verkapselungsmaterialien und den Materialeigenschaften der Solarzelle. Durch eine eindeutige Ursachenanalyse wurde am Fraunhofer CSP ein Schnelltest entwickelt, der die spezifische PID-Empfindlichkeit von

Solarzellen unterscheiden kann (Abbildung 1). Näheres dazu wird im Beitrag »Potenzial-induzierte Degradation: Ursachen und Vermeidung« dargestellt.

Leistungs- und Ertragsanalyse

Garantierte elektrische Leistung pro Modul und zuverlässige Erträge im System sind die wesentlichen Anforderungen an PV-Anlagen. Durch das wissenschaftliche Monitoring von elektrischen Kennwerten unter Betriebsbedingungen über ausgedehnte Zeiträume werden am Fraunhofer CSP Ertragsentwicklungen dargestellt. Daher beschäftigt sich das Fraunhofer CSP mit Leistungs- und Ertragsermittlungen für besondere Bauformen und für besondere geografische Standorte. So werden zum Beispiel der Aufbau und der Betrieb einer Forschungsfreifeldanlage in Marokko unterstützt oder Freifeldmessungen an Modulen mit neuem Layout durchgeführt. Wie durch neue Modulgestaltung die cell-to-module (CTM-) Effizienz deutlich verbessert kann, zeigen Untersuchungen an PV-Modulen, welche mit Zellen in halber Standardgröße hergestellt wurden (Abbildung 2). In Freifeldversuchen konnten monatliche Ertragsgewinne zwischen 1,9 und 3,9 Prozent verzeichnet werden. Durch weitere gezielte Verbesserungen im Moduldesign soll eine CTM-Effizienz von 100 Prozent oder sogar mehr erreicht werden.

Dr. Matthias Ebert, Dr. Christian Hagendorf

POTENZIAL-INDUZIERTE DEGRADATION: URSACHEN UND VERMEIDUNG

Gruppen

Diagnostik | Modulzuverlässigkeit

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

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

Potenzial-induzierte Degradation: Ursachen und Vermeidung

Potenzial-induzierte Degradation (PID) ist ein schwerwiegender Moduldefekt. PID tritt in Photovoltaikanlagen auf, wenn sich durch die Reihenverschaltung von Photovoltaikmodulen hohe elektrische Spannungen zwischen geerdetem Modulrahmen und verkapselten Solarzellen ausbilden. Kurzschlüsse im Inneren der von PID betroffenen Solarzellen bewirken eine Degradation, die den Stromertrag dauerhaft mindern und bis zum Totalausfall betroffener Anlagen führen kann. Ein grundlegendes Verständnis des Degradationsmechanismus ist essentiell, wenn es um die Vermeidung von PID geht. Das Fraunhofer CSP erforscht hierfür die physikalischen Ursachen von PID. Die Spur führt dabei bis zum atomaren Maßstab. Ergebnisse zeigen, dass das Kurzschließen der Solarzellen bei PID durch Kristalldefekte an der Zellenoberfläche hervorgerufen wird.

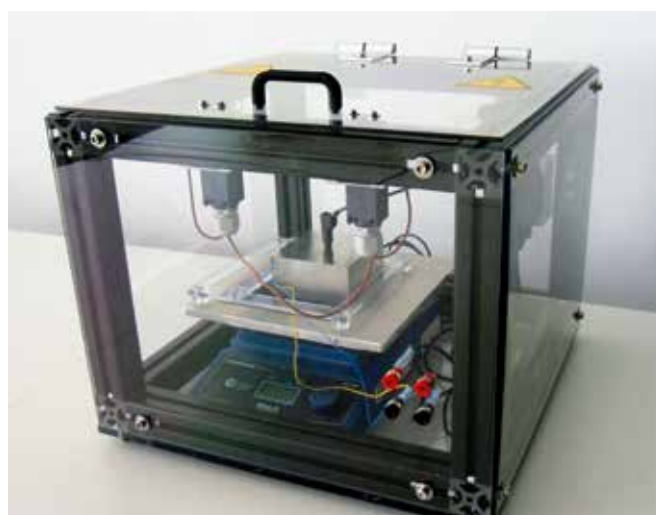
Teststand für unverkapselte Solarzellen

Eine Voraussetzung für die Durchführung mikroskopischer Analysen an der Oberfläche degradierter Solarzellen ist die zerstörungsfreie Erzeugung von PID im Labor. Das Fraunhofer CSP entwickelte dafür ein entsprechendes Verfahren und eine Testapparatur. Mit dem Testaufbau lassen sich weiterhin Materialeinflüsse an Solarzellen und Verkapselungsmaterialien studieren. Der Partner Freiberg Instruments GmbH entwickelte das Gerät »PIDcon«, das auf dem zum Patent angemeldeten Testverfahren beruht, bis zur Marktreife weiter. Die Kosten für die Untersuchung von Solarzellen auf PID-Anfälligkeit, die für Solarzellen- und Modulhersteller von hohem Interesse ist, verringern sich damit im Vergleich zu herkömmlichen PID-Tests an Solarmodulen in Klimakammern auf einen Bruchteil.

Neue Materialien gegen den Leistungsverlust

Alle Komponenten von Solarmodulen werden einzeln und im Verbund auf ihre elektrischen, chemischen und strukturellen Eigenschaften hin charakterisiert. Zusätzlich findet die Bewertung des Langzeitverhaltens nach thermischer und elektrischer Belastung von Modulverbänden statt. Mit dem Ziel, zur Umsetzung PID-stabiler und dennoch kostengünstiger Photovoltaikmodule beizutragen, arbeitet das Fraunhofer CSP an der Entwicklung neuer Verkapselungsmaterialien, Oberflächentexturen und Beschichtungsprozesse für Solarzellen.

Volker Naumann



1 Mit dem neuartigen Teststand werden Solarzellen und Modulverkapselungsmaterialien auf ihre Anfälligkeit für Potenzial-induzierte Degradation geprüft.

SCHNECKENSPUREN IN PV-MODULEN SIND VERMEIDBAR

Gruppe

Diagnostik | Modultechnologie

Prof. Dr. Stephan Schönfelder | Telefon +49 345 5589-5310 | stephan.schoenfelder@csp.fraunhofer.de

Schnecken Spuren sind ein häufig beobachteter Defekt an PV-Modulen, bei denen sich lokale Verfärbungen als dunkle Streifen über die Oberfläche der Solarzelle ziehen (Abbildung 1). Da jede sichtbare Veränderung an den Modulen die Betreiber verunsichert und eine potenzielle Verkürzung der Modullebensdauer befürchten lässt, ist eine wissenschaftliche Erklärung für das neue Phänomen dringend notwendig.

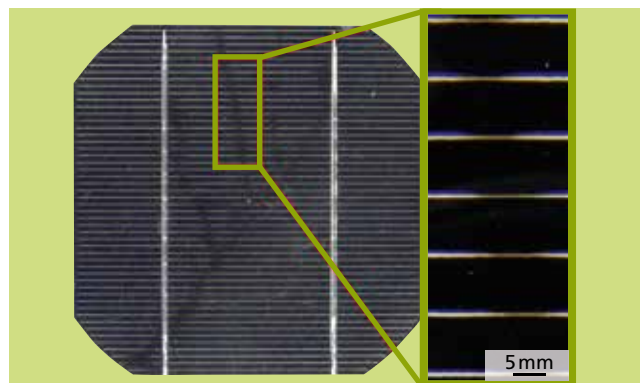
Ursachenaufklärung und Laborprüfverfahren

Durch mikrostrukturelle und chemische Analysen an betroffenen Modulen und systematisch hergestellten Prüfkörpern konnte der Mechanismus der Schnecken Spurentstehung aufgeklärt werden: Eindringende Feuchtigkeit gelangt an feinen Rissen auf die Oberseite der Solarzelle und verursacht eine lokale chemische Reaktion zwischen den Kontaktfingern aus Silber und der Polymerfolie, welche die Solarzelle umgibt. Es bilden sich Silbernanopartikel (AgNP) in der Umgebung der Risse, welche die Braunfärbung verursachen. Neben Wasser und Silber sind vor allem Additive aus den verwendeten Polymerfolien an der Reaktion beteiligt. Mithilfe eines schnellen und vergleichsweise einfachen Laborverfahrens ist es möglich, Materialproben von Rückseiten und Einkapselungsfolie auf ihre Schnecken Spuranfälligkeit zu testen. Dabei wird durch die Gegenwart von Silberionen in wässriger Umgebung die Situation im PV-Modul simuliert und die Reaktion beschleunigt. Die Entstehung von AgNP wird anhand der Braunfärbung und der für Nanopartikel typischen Plasmonenresonanz detektiert.

Vermeidung von Defekten

Um Defekte zu vermeiden, welche durch die Interaktion der Kunststoffkomponenten mit Solarzellen oder Verbindern auftreten, werden angepasste Materialrezepturen für Verkapselungsmaterialien im Labormaßstab entwickelt. Die gezielte Einarbeitung oder Eliminierung von bestimmten Additiven in Polymerfolien stehen hier im Fokus. So kann über die Reduktion oder gänzliche Vermeidung phosphorbasierter Additive eine Eliminierung des Schnecken Spurphänomens erreicht werden. Diese Kompetenzen wurden im Rahmen des Innovationsclusters SolarKunststoffe entwickelt und werden derzeit in verschiedenen Projekten angewendet.

Dr. Sylke Meyer, Dr. Stefan Schulze



1 Solarzelle mit Schnecken Spuren (links) und mikroskopisches Detail (rechts) mit sichtbaren Verfärbungen der Kontaktfinger.

SOLARZELLEN IM MODUL: BRUCH- UND MECHANISCHE ZUVERLÄSSIGKEIT

Gruppen

Siliziumwafer | Modulzuverlässigkeit

Prof. Dr. Stephan Schönfelder | +49 345 5589-5310 | stephan.schoenfelder@csp.fraunhofer.de

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

Risse im Silizium können bei entsprechender Belastung bereits während der Zellproduktion entweder zum Bruch der Solarzelle oder im Modul zum Leistungsverlust und Hot-Spots führen. Daher sind die Charakterisierung der Festigkeit und die Vermeidung von Rissen ein wichtiges Anliegen bei der Auslegung von Solarzellen und Solarmodulen. Unter Verwendung verschiedener Methoden der Materialprüfung und numerischen Modellierung setzen die Forschungsarbeiten am Fraunhofer CSP bereits bei den Herstellungsprozessen von Wafern, Solarzellen und Solarmodulen an.

Kritische Belastungsbereiche

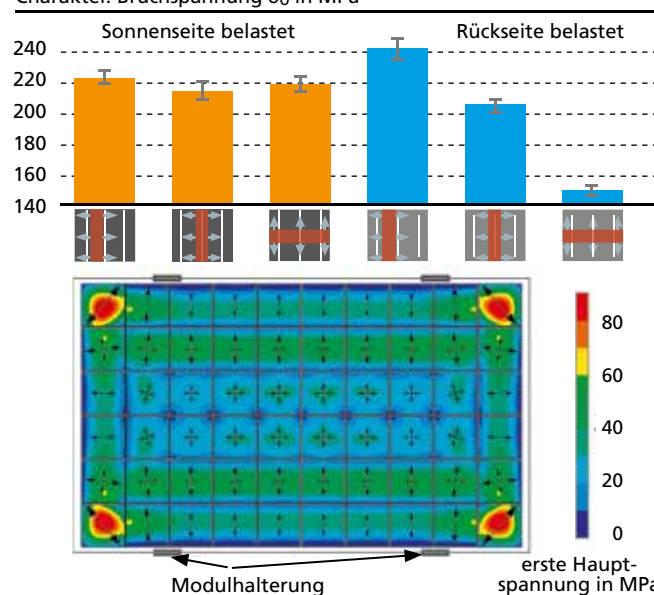
Für aktuelle Silizium-Solarzellen wurde die Festigkeit auf der Vorder- und Rückseite mit zwei verschiedenen Belastungsrichtungen bestimmt. Die Zellen wurden zusätzlich so im Versuchsbereich verschoben, dass einmal der Bereich der Busbars bewertet wird und im anderen Fall nicht. Besonders der Testbereich um die Busbars auf der Rückseite mit einer Zugbelastung parallel zu den Busbars ist als kritisch zu bewerten (Abbildung 1). Experimente mit laminierten Solarzellen verdeutlichen ebenfalls, dass der Bruch einer Solarzelle innerhalb dieses kritischen Bereichs um die Solarzellenverbinder initiiert wird. Numerische Simulationen der Herstellungsprozesse (Löten, Lamination) an virtuellen Modellen zeigen, dass es um die Solarzellenverbinder zu überhöhten mechanischen Spannungen kommt. Die grundlegende Ursache für die Festigkeitsreduzierung in der Solarzelle vor und nach dem Löten/Laminieren liegt darin, dass Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften (Ausdehnung pro geänderte Temperatureinheit) fest miteinander verbunden werden.

Dies führt bei Temperaturänderungen zu Verspannungen in den einzelnen Materialien, insbesondere der Solarzellen.

Die Zusammenführung von Experiment und Simulation liefert sowohl für die Untersuchung von Solarzellen als auch vollständigen Solarmodulen detaillierte Informationen über die entstehenden Beanspruchungen. Darauf basierend können Maßnahmen getroffen werden, um diese mechanischen Spannungen zu reduzieren.

Felix Kaule, Sascha Dietrich

Charakter. Bruchspannung δ_{θ} in MPa



1 Festigkeitsverhalten von aktuellen Siliziumsolarellen in Abhängigkeit von der Belastung und 1. Hauptspannung und Spannungsrichtung im Modul.

LEBENSDAUERANALYSE VON SOLARMODULEN

Gruppe
Modulzuverlässigkeit

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

In einem kristallinen Solarmodul werden Solarzellen durch Solarzellenverbinder (verzinnzte Kupferbänder) in Reihe geschaltet. Durch Temperaturschwankungen oder mechanische Lasten, wie Wind oder Schnee, ermüden auf Dauer die Verbinder, was zu signifikantem Leistungsverlust führen kann. Die Gruppe Modulzuverlässigkeit entwickelt Methoden zur Charakterisierung des Verbindermaterials, experimentelle Messaufbauten zur In-Laminat-Ermüdung und der numerischen Simulation der Ermüdungsprozesse.

Experimentelle Bestimmung der In-Laminat-Ermüdung

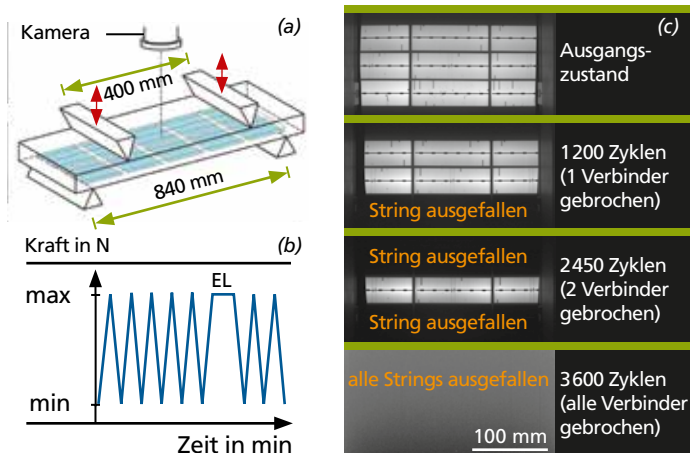
Für zyklische mechanische Tests an Minimodulen wurde ein spezieller Vierpunktbiegeversuch entwickelt. Dieser ermöglicht eine in situ-Messung des Modulserienwiderstandes und Elektrolumineszenz-Aufnahmen. Dadurch können gebrochene Verbinder identifiziert und Zellbruch untersucht werden. Mithilfe von Finite-Elemente-Simulationen wird das Lastniveau für die Minimodulprüfkörper so vorgegeben, dass im verwendeten Laminatprüfkörper vergleichbare Zellverschiebungen erzeugt werden wie in einem kompletten Modul. Die Verbinderermüdung in einem Modullaminat kann hiermit effizient charakterisiert werden, was einen ökonomischen Vergleich verschiedener Verbindermaterialien, Geometrien, Produktionsbedingungen und Modullayouts ermöglicht.

Simulation der Verbinderermüdung

Für die numerische Simulation der Ermüdung wurde zunächst ein Grobmodell erarbeitet, welches die Verschiebungen der Zellen berechnet. Anschließend wurden diese Ergebnisse in ein Detailmodell des Zellverbinders überführt, aus dem ein

materialspezifischer Parameter als Indikator für die Schädigung je Zyklus ermittelt wird. Dieser wird mit Werten einer experimentellen Verbinderermüdungsprüfung abgeglichen. Auf diese Weise konnte ein geometrie- und belastungsunabhängiges Ermüdungsmodell generiert werden, welches es ermöglicht, bei beliebigen Aufbauten und Lastszenarien die Lebensdauer der Verbinder abzuschätzen. Der Vergleich von Experiment und Simulation erzielte bereits eine gute Übereinstimmung. Aufbauend auf den validierten Simulationsmodellen können Studien für Lastkollektive und unterschiedliche Klimazonen durchgeführt werden.

Matthias Pander, Rico Meier



1 Messanordnung für eine zyklische, mechanische Belastung der Mini-module (a), Lastprofil (b), Elektrolumineszenz-Aufnahmen nach unterschiedlichen Belastungszyklen (c).

FRAUNHOFER-ANWENDUNGSZENTRUM FÜR ANORGANISCHE LEUCHTSTOFFE

LEITER

Prof. Dr. Stefan Schweizer | Telefon +49 2921 378-410 | stefan.schweizer@iwmh.fraunhofer.de

Fokus

Das Fraunhofer-Anwendungszentrum (AWZ) für Anorganische Leuchtstoffe arbeitet an der Charakterisierung und Entwicklung von Leuchtstoffen und Leuchtstoffsystemen, speziell auf den Gebieten der Leuchtstoffeffizienz, Zuverlässigkeit und Farbstabilität. Im Fokus stehen dabei umfassende optische und spektroskopische Analysen, thermische und mikrostrukturelle Charakterisierungen sowie Untersuchungen zur Langzeitstabilität von Leuchtdioden und Beleuchtungselementen.

Bemerkenswertes aus 2014

Das neu gegründete Fraunhofer-Anwendungszentrum für Anorganische Leuchtstoffe wurde am 20. Juni in Anwesenheit der Ministerin für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Svenja Schulze, des Präsidenten der Fachhochschule Südwestfalen, Prof. Dr. Schuster, sowie von rund 150 Gästen aus Industrie, Politik und Wissenschaft in Soest feierlich eröffnet.

Das an der Fachhochschule Südwestfalen am Standort Soest angesiedelte Fraunhofer AWZ forscht und arbeitet gemeinsam mit Experten namhafter Unternehmen der Region wie BJB Lichttechnik, dem Leuchtenhersteller TRILUX und dem Automobilzulieferer HELLA.

2014 erfolgte der Aufbau der Arbeitsgruppe und der Labore, sodass nun zahlreiche Methoden zur Analyse von Leuchtstoffen, LEDs und LED-Modulen zur Verfügung stehen. Bei Bedarf kann jederzeit auf die hervorragende Ausstattung des Mutterinstituts Fraunhofer IWM zurückgegriffen werden. Erste wissenschaftliche Erfolge sind bereits zu verzeichnen: Sebastian Loos, Mitarbeiter der Fachgruppe Physik und Energietechnologien von Prof. Dr. Schweizer an der Fachhochschule Südwestfalen, wurde für seine Abschlussarbeit, die er in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer AWZ erstellt hat, mit dem renommierten Green Photonics Award 2014 ausgezeichnet.



» Unsere Kunden sorgen sich zunehmend um die Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit von weißen LEDs: Besonders Veränderungen im Leuchtstoff und Verkapselungsmaterial verursachen Probleme. Leuchtstoffdotierte Gläser und Glaskeramiken sind eine vielversprechende Alternative.«

LUMINESZIERENDE GLÄSER FÜR WEISSE LEUCHTDIODEN

Leuchtdioden (LEDs) sind die Zukunft der Beleuchtungstechnik. Moderne Hochleistungs-LEDs bieten gegenüber konventionellen Glüh- und Energiesparlampen enorme Vorteile im Hinblick auf Effizienz, Kompaktheit, Lebensdauer und Umweltschutz. Weiße LEDs haben jedoch aufgrund der Kombination einer blauen LED mit einem gelb emittierenden Leuchtstoff im Vergleich zu herkömmlichen Beleuchtungselementen eine »kaltweiße« Farbwiedergabe aufgrund des fehlenden Rotanteils. Zudem zeigt ein Teil der bislang eingesetzten Leuchtstoffe eine Degradation aufgrund der durch die hohen Betriebsströme generierten Wärme.

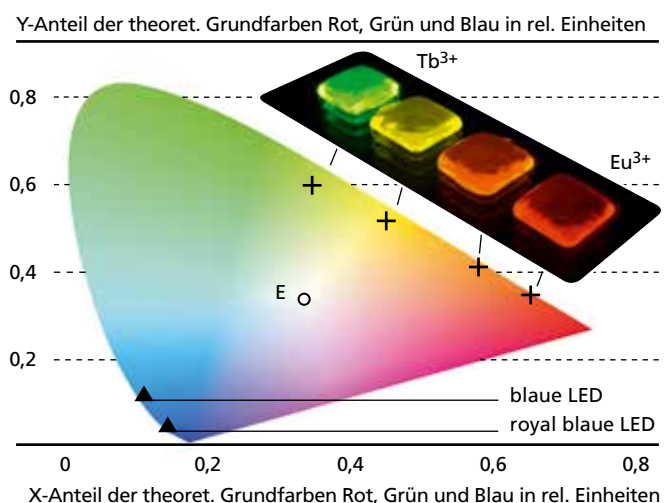
Lumineszierende Gläser

Neue Leuchtstoffe auf Basis lumineszierender Gläser, dotiert mit Seltenen Erden, sollen die Lebensdauer von weißen Leuchtdioden erheblich erhöhen und einen langzeitstabilen Farbeindruck sicherstellen. Die Gläser und Seltenen Erden zeichnen sich durch eine erhöhte chemische und thermische Widerstandsfähigkeit sowie elementspezifische Emissionen aus. Durch geeignete Auswahl und Kombination mehrerer Seltenen Erden ist es möglich, ein breites Spektrum von Farben und Farbtemperaturen einzustellen.

Die Schwierigkeit bei Weißlicht-LEDs besteht in der richtigen Kombination aus LED und Leuchtstoff, sodass ein weißer Lichteindruck entsteht. Dessen Bewertung erfolgt mit dem sogenannten CIE-Diagramm (Abbildung 1). Das Licht sollte möglichst nah am Weißlichtpunkt E liegen. Dafür müssen sich die Emission des Leuchtstoffs und die Emission der blauen LED gegenüberliegen. Beispielhaft sind die Emissionen von zwei kommerziellen blauen LEDs (CREE XLamp XP-E) eingezeichnet.

Vor allem Terbium und Europium eignen sich sehr gut für ihren Einsatz in der Beleuchtungstechnik. Beide weisen unter ultraviolet (UV)/Blaulichtanregung eine intensive Emission im grünen (Tb) beziehungsweise im roten Spektralbereich (Eu) auf. Durch Mischung beider Seltenen Erden kann so das gesamte Spektrum von rot bis grün abgebildet werden. Beispielhaft sind in Abbildung 1 vier Proben unter Anregung mit UV-Licht gezeigt und deren Emission im CIE-Diagramm durch Kreuze gekennzeichnet. Alle auf der Linie zwischen Tb und Eu befindlichen Farbmischungen sind je nach Konzentrationsverhältnis möglich.

Franziska Steudel, Dr. Bernd Ahrens



1 CIE-Diagramm mit Weißlichtpunkt E und den Koordinaten für zwei LEDs und die im Foto unter UV-Anregung gezeigten Tb³⁺ und Eu³⁺ dotierten Gläser.

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IWM

Verbünde, Allianzen, Projektgruppen

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

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

Vorsitzender: Prof. Dr. Peter Elsner

Kontakt: Dr. Ursula Eul

ursula.eul@lbf.fraunhofer.de

www.materials.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz AdvanCer

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

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

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

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

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

Fraunhofer-Allianz Batterien

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

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

Fraunhofer-Allianz Bau

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

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

Fraunhofer-Allianz Energie

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

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

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

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

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

Fraunhofer-Allianz Leichtbau

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

Dr. Peter Michel, Dr. Michael Luke

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



Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

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

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

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen

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

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

Fraunhofer-Projektgruppe Neue Antriebssysteme NAS

Im Rahmen der Projektgruppe arbeitet das Fraunhofer IWM gemeinsam mit dem Fraunhofer ICT an der Entwicklung von neuen, effizienteren Antriebskonzepten für mobile und stationäre Anwendungen. Forschungsbereiche sind hybride Antriebe und Elektromobilität sowie konventionelle Antriebe. Schwerpunkte sind die Entwicklung von Lösungen zur dezentralen stationären Energieversorgung für Antriebe und Wärmenutzung sowie der Leichtbau im Antriebsstrang, um die Effizienz zu steigern. Das Fraunhofer IWM entwickelt in diesem Zusammenhang verbesserte, tribologische Konzepte für Antriebssysteme.

Dr. Hans-Peter Kollmeier
www.ict.fraunhofer.de/de/komp/nas.html

Zukunftsprojekt Supergrid

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

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

Fraunhofer Leitprojekt Kritikalität Seltener Erden

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

Prof. Dr. Christian Elsässer, Prof. Dr. Thomas Höche
www.fraunhofer.de/de/fraunhofer-forschungsthemen/fraunhofer-leitprojekte/fraunhofer-seltene-erden.html

Max-Planck – Fraunhofer Kooperationsprojekt HEUSLER

Das Fraunhofer IWM in Halle und Freiburg erforscht gemeinsam mit zwei Max-Planck-Instituten in Dresden und Halle, welche strukturellen und chemischen Möglichkeiten es gibt, um auf der Basis von intermetallischen Heusler-Phasen neuartige Materialien zu erzeugen, die gute hartmagnetische Eigenschaften haben, aber keine Seltenerd-Elemente enthalten.

Prof. Dr. Thomas Höche, Prof. Dr. Christian Elsässer
www.fraunhofer.de/de/institute-einrichtungen/max-planck-kooperationen.html#12

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IWM

Fraunhofer-Gemeinschaftsforschung, Innovationscluster und Spitzencluster

Wirtschaftsorientierte Strategische Allianzen (WiSA) setzen neue Technologien in die industrielle Praxis um. Marktorientierte strategische Vorlaufforschungsprojekte (MaVo) ermöglichen anspruchsvolle Forschung an Zukunftsthemen.

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

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

Prof. Dr. Michael Moseler

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

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

Prof. Dr. Matthias Petzold

Innovationscluster Kunststoffe und Kunststofftechnologie für die Solarindustrie, Halle

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

Dr. Michael Busch

www.solarkunststoffe.de

Innovationscluster Regional Eco Mobility 2030, Karlsruhe

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

Dr. Michael Luke

www.rem2030.de

Innovationscluster Technologien für den hybriden Leichtbau KITE hyLITE, Karlsruhe

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

Dr. Michael Luke

www.fahrzeugleichtbau.de

Spitzencluster BioEconomy

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

Andreas Kromholz

www.bioeconomy.de

Spitzencluster microTEC Südwest

Im Anwendungsfeld Smart Mobility unter dem Leitthema Robuste und effiziente Sensorik erarbeitet der Cluster neue Technologieschritte und innovative Produkte der Mikrosystemtechnik. Für Wärmebildkameras mit hoher Auflösung auf Basis von ungekühlten mikromechanischen Far-Infrared-Bildsensoren hat der Cluster im Projekt RTFIR eine Technologieplattform für neue, wirtschaftliche Fertigungstechniken zur Erschließung von Massen Anwendungen entwickelt. Dabei hat das Fraunhofer IWM neue Prozessschritte für die Realisierung eines kostengünstigen Fertigungsprozesses für die teuren FIR-Optiken erarbeitet. Mit diesem nicht-isothermen Heißprägeverfahren können optische Linsen mit asphärischen Flächen aus speziellen IR-Glassorten (Chalkogenidgläser) in hoher Güte in Serienfertigung hergestellt werden.

Dr. Günter Kleer

www.microtec-suedwest.de

Spitzencluster SolarValley Mitteldeutschland

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

Prof. Dr. Jörg Bagdahn

www.solarvalley.org

Mechanische Prüfung und Bewertung

Werkstoffprüfung und Extensometrie

- Servohydraulische, elektrodynamische und elektromechanische Prüfmaschinen für Prüfkraft von 10 mN bis 8 MN mit Prüfkammern von 80 bis 2 500 K zur statischen, dynamischen und zyklischen Prüfung
- Servohydraulische Torsionsprüfanlage bis ± 4 kNm und ± 50 Grad
- Versuchsstände zur thermomechanischen Ermüdung bis 1 800 °C
- Klimatisierte Shakerprüfanlage für Vibrations- und Schocktests
- 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
- Prüfraum für Zugprüfungen in Hochdruck-Wasserstoff bei bis zu 1 000 bar
- Autoklav zur Wasserstoff-Beladung bei bis zu 350 °C und 500 bar

Werkstoffcharakterisierung für crashartige Belastungen

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

Bauteilprüfung

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

Bewertung des Einsatzverhaltens bei Temperatur- und Medienbelastung

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

Prüfung von Mikrokomponenten

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

Prüfung von Mikroproben

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

Material- und Oberflächencharakterisierung

Ionen-/Elektronenmikroskopie

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

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

Physikalisch/chemische Oberflächenanalytik

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

Topografie- und Konturmessung

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

Lichtoptische und spektrometrische Verfahren IR-UV

- Lichtmikroskope, Dunkelfeld- und DIK-Modus
- Quantitative Bildanalyseysteme
- UV/VIS/NIR-Spektrometer und Spektrellipsometer
- Elektrolumineszenz- und Photolumineszenz-Spektroskopie
- Infrarot-Mikroskopie
- FTIR-Spektroskopie und -Mikroskopie mit ATR-Messzellen
- Konfokales Ramanmikroskop und Raman-Spektrometer
- IR-Spannungsoptik-Messungen
- Verfahren zur Messung der Ladungsträgerlebensdauer (Mikrowellen-Photoconductance-Decay, quasistatische Photoleitfähigkeit)
- Farbanalysator

Röntgenografische Verfahren, Mikrostruktur- und Spannungsanalyse

- 3D-Röntgen-CT-Inspektionsanlagen (185 kV Nanofokus, 225 kV Mikrofokus) mit in situ-Verformungseinrichtungen
- Röntgendiffraktometer für Spannungsmessung, Textur- und Phasenanalyse mit Hochtemperatureinrichtung bis 2300 K und Dünnschichtanalyseeinrichtung
- Mobile Diffraktometer für Eigenspannungsanalysen
- Mikrodiffraktometer (laterale Auflösung von 100 µm)
- Bohrlochverfahren für tiefenauflösende Eigenspannungsanalysen
- Luftgekoppelter Ultraschall (Scanfläche 1500 x 1000 mm²)
- Akustische Rastermikroskopie (MHz bis GHz)
- Aktive Thermographieverfahren (Puls-Phasen-Thermographie PPT, Lock-in-Thermographie, Thermoelastische Spannungsanalyse TSA)

Thermophysikalische Messverfahren

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

Charakterisierung von Schichten und Oberflächen, Tribologie

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

Material- und Spurenanalyse

- Massenspektroskopie mit induktions-gekoppeltem Plasma (ICP-MS) mit Laserablation, chemische Extraktion und elektrothermische Vaporisation
- Wasserstoffanalysator inkl. Auslagerungsöfen

TECHNISCHE AUSSTATTUNG

- Stickstoff- und Sauerstoffanalysator
- Dichte- und Porositätsmeseinrichtungen
- Wasserstoffpermeationsprüfstand mit Zug- und Temperiereinrichtung
- Karl-Fischer-Titrator (Feuchtemessung)
- Restgasanalysator
- Gaspermeationsmessgerät
- Thermische Desorptionsspektrometer zur Wasserstoffanalyse

Polymercharakterisierung

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

Materialsynthese, -modifizierung und -bearbeitung

- 3D-Laser-Lithografiesystem
- Plasma-CVD-Beschichtungsanlagen (CCP/ICP)
- DC-Puls-Beschichtungsanlagen
- Hochfrequenz-Magnetron-Bias-Beschichtungsanlagen
- Ionenstrahlunterstützte Elektronenstrahlverdampfungsanlagen
- Coronabehandlungsanlagen für Polymerfolien
- Mehrkammerbeschichtungsanlage für Multilagenbeschichtungen und Hybridschichten
- Anlage zur Plasmapolymersation
- Plasmaätzenanlagen
- Nasschemische Beschichtungsanlagen (Spin-Coating, Rakelbeschichtung, Tauchbeschichtung)
- Elektrostatische Spinneinrichtung
- 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
- Anlage zum Laserschweißen von Polymerfolien
- Ultra-Präzisionsdreh-, -schleifmaschinen und -fräsmaschinen zur Diamantbearbeitung
- Kugelstrahlanlagen zur Verfestigung und Strukturierung von Oberflächen

Berechnungswerkzeuge

Software

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

Hardware

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

Ausstattung Photovoltaik im Fraunhofer CSP

Modulcharakterisierung

- Doppelring- und Vierpunktbiegetest zur Bestimmung der Glasfestigkeit
- Vierpunktbiegeversuch für Minimodule mit Elektrolumineszenz
- Mechanische Belastungsprüfplätze für Solarmodule

TECHNISCHE AUSSTATTUNG

- Klimaprüfkammern teilweise mit Lichtalterungseinrichtung
- UV-Vorbehandlung von Modulen
- Hochspannungstest-Equipment für PID
- Elektrolumineszenz- und Thermographieaufnahmen
- Indoor-Modulflasher für Modulleistungsmessung
- Freifeldmessplätze zur Ertrags- und Modulleistungsmessung

Elektrische Charakterisierung

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

Waferfertigung

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

Modulfertigung

- 3D-Vakuumlaminator
- Automatisches Dispenssystem für Leitkleber
- Variable Zellstring-Lay-up-Station
- Halbautomatische Zellverlötungsanlage
- Laborglasreinigungsautomat
- Labor- und Großmodullaminator
- Präzisionsprüfmaschinen für Verbindungs- und Lotmaterial
- RTP-Ofen
- Siebdrucker
- Thermoschockprüfschrank
- Universalprüfmaschine
- UV-Vernetzungseinheit
- Vakuumlaminator

Polymeranalytik

- Dielektrische Analyse (DEA)
- Differentielles Wärmestromkalorimeter (DSC)
- Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA)

- FT/IR Spektrometer mit TGA-FT/IR Kopplung
- Karl-Fischer-Titration zur Feuchtebestimmung in Kunststoffen
- Licht-Klimaprüfschrank und Klimaprüfschrank
- Rotationsrheometer
- Schubstangendilatometer
- Soxhlet-Extraktor
- Thermogravimetrische Analyse (TGA), Thermomechanische Analyse (TMA)

Optik

- UV-VIS-NIR Zweistrahl-Spektralphotometer (Spektralbereich 200 nm bis 2500 nm)
- Zeitaufgelöste Fluoreszenz und orts aufgelöste Elektrolumineszenz im UV-VIS-NIR-Bereich
- FT-IR- und Raman-Spektrometer
- Spektralellipsometer (230-2400 nm)
- Optische Simulation
- Nano- und Femtosekunden-Lasersysteme

Polymerverarbeitung im Fraunhofer IWM und im Fraunhofer PAZ

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

Preise und Ehrungen

Poster-Award des Ostbayerischen Technologie-Transfer-Instituts OTTI an Dr. Sylke Meyer für »Schneckenspuren: Ursachenanalyse und Testverfahren«
08.03.13, Bad Staffelstein

The Best Papers for Innovative Content der Aluminium Two Thousand an Dr. Dong-Zhi Sun für seinen Konferenzbeitrag »Sun, D.-Z.; Ockewitz, A.; Falkinger, G.; Andrieux, F.: Characterization and modeling of the deformation and damage behavior of thick-walled aluminum profiles«
18.05.13, Milano, Italien

ENIAC Innovation Award 2013 des European Nanoelectronics Forums 2013 an Frank Altmann und Prof. Dr. Matthias Petzold für das Forschungsprojekt »European research project ESiP (Efficient Silicon Multi-Chip System-in-Package Integration)«
27.11.13, Barcelona, Spain

ECPE Young Engineer Award an Bianca Böttge für ihre Veröffentlichung »High resolution failure analysis of silver-sintered contact interfaces for power electronics«
27.02.14, Nürnberg

Green Photonics Nachwuchspreis auf der Hannover Messe, Forum tech transfer, an Sebastian Loos für »Luminescent Glasses for LED Applications and High Efficiency Solar Cells«
07.04.14, Hannover

Fraunhofer Ausbilderpreis 2014 an Stefan Frei für seine Leistungen zu »Inklusion – Personen mit Behinderungen, bzw. schwerer Krankheit in den Berufsalltag zu integrieren und ihnen Perspektiven bieten«
08.04.14, Berlin

Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2014 – Forschung im Verbund an Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann für »Neue flüssigkristallbasierte Schmierstoffe für minimale Reibverluste und maximale Lebensdauer«
20.05.14, Freiburg

Werkstoffmechanikpreis 2014 an Dr. Gerhard Maier für seine Veröffentlichung »Mikrostruktur, Verformung und Lebensdauer der Legierung Alloy 617B«
20.05.14, Freiburg

Posterpreis der Akademie Mitteldeutsche Kunststoffinnovationen an Dr. Anas Mujtaba für »Polymer dynamics and crosslink density of SBR nanocomposites containing fillers with different surface area«
27.06.14, Merseburg

MMM2014 Best Poster Award an Benedikt Ziebarth für seinen Konferenzbeitrag »Interstitial iron impurities at grain boundaries in silicon: a first-principles study«
09.10.14, Berkeley, CA, USA

Dissertationen

Sascha Dietrich
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Numerische Untersuchungen zur mechanischen Zuverlässigkeit verkapselter Siliziumsolarzellen; 6394/2014

Ossama Dreibati **
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
Physical welding simulation of the cold crack susceptibility

Tim Feser
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Untersuchungen zum Einlaufverhalten binärer α -Messinglegierungen unter Ölschmierung in Abhängigkeit des Zinkgehaltes; 1059/2013

Tobias Kennerknecht
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Fatigue of Micro Molded Materials – Aluminum Bronze and Yttria Stabilized Zirconia; 1051/2014

Hanna Lager
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Particle-based simulation of sheared magnetorheological fluids; 1176/2014

Benjamin März
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Intermetallische Phasenbildung in Gold-Aluminium Drahtbondkontakten: Der Einfluss von Legierungsbestandteilen im Golddraht; 3/2014

Hanna Paul
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Bewertung von langfaserverstärkten Kunststoff-Metall-Hybridverbunden auf der Basis des Verformungs- und Versagensverhaltens; 1016/2013

Alexander Renz
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Untersuchung des Verschleißverhaltens von keramischen Schneidstoffen im trockenen Gleitreibungskontakt mit Nickelbasislegierungen; 1322/2014

Martin Sander
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Systematische Untersuchung von Rissen in verkapselten Solarzellen bei thermischer und mechanischer Belastung; 963/2013

Michael Schlesinger
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Experimentelle Untersuchung des zeitabhängigen Rissfortschritts unter thermomechanischer Ermüdung in Nickellegierungen und mechanismenbasierte Modelle zur Lebensdauerbewertung; 139/2014

Ralf Schlimper
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Verformungs- und Versagensverhalten geschlossenzelliger Polymerhartschaumstoffe; 6231/2014

Bernadette Schlüter
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Funktionalisierte Graphene für tribologische Anwendungen; 321/2013

Kinshuk Srivastava (*)
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Atomistically-informed discrete dislocation dynamics modeling of plastic flow in body-centered cubic metals; 2014

Melanie Syha (*)
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Microstructure evolution in strontium titanate – Investigated by means of grain growth simulations and x-ray diffraction contrast tomography experiments; 2014

Matthias Tritschler
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Modellierung und Simulation des Umformverhaltens von Titan und nichtrostendem Edelstahl; 708/2013

(*) durch das Fraunhofer IWM betreute Dissertationen

() Dissertation eines Mitarbeiters am Fraunhofer IWM, extern betreut**

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

Julia Bieske
Technische Universität Bergakademie Freiberg
Entwicklung eines Herstellungsprozesses für kunststoffgebundene Hartferritmagnete im Labormaßstab und Untersuchung des Einflusses der Partikelorientierung auf die magnetischen Eigenschaften (B)

Sherif Ahmed Abdel-Wahed
German University Cairo
Potentielle, tribologische Analyse des Reib- und Verschleißverhaltens ausgewählter Polyamide. Potential tribological analysis of the friction and wear behaviors of selected polyamides (M)

Robert Andreas
Fachhochschule Brandenburg
Ermittlung der Schubkennwerte an pinverstärkten CFK-Schaum-Sandwichstrukturen nach Auslagerung unter Theroschock (B)

Estela Álvarez Fernández
Universidad de Oviedo, Spanien
Evaluation of analytical models for the assessment of plasticity induced crack closure (M)

Christian Bentler
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Molekulardynamische Untersuchung von Deformationsverhalten und Tribologie von AlSiCu-Legierungen (D)

Christian Bruns
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Einlaufverhalten unter Berücksichtigung der Mikrostruktur von poliertem Ck45 gegen C85 (D)

Felix Caspari
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Tribologische Untersuchung von Schmiermitteln für Tunnelbohrmaschinen (B)

Jurijs Celevics
Hochschule Merseburg
Untersuchungen von Material- und Verfahrenseinflüssen auf die sich einstellenden mechanischen Eigenschaften von glasfaserverstärkten Thermoplasten in der Direktverarbeitung mittels IMC-Technologie (B)

David Daßler
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Superposition mechanischer Belastungszustände für Solarzellen zur mechanischen Zuverlässigkeitsbewertung (M)

Alexander Düren
Fachhochschule Köln
Numerische und praktische Untersuchungen zum Einfluss der Rahmendichtung auf das Last-Verformungsverhalten eines Solarmoduls (B)

Samadin El-Khodary
Westfälische Hochschule, Abteilung Bocholt
Fertigung und Zuverlässigkeitsbewertung von gekrümmten Solarmodulen (B)

Felix Faltin
Hochschule Zittau/Görlitz
Bewertung von Farbgestaltungsvarianten für polymerbasierte Leichtbau-Solarmodule (D)

Kaiyuan Gao
Hochschule Anhalt Köthen
Flow Injection Analysis von Antioxidantien mit Chemilumineszenzdetektion (B)

Marcel Gauvain
Hochschule Offenburg
Mikrostrukturelle Charakterisierung eines Kaltumformstahls in Bezug auf sein duktiles Schädigungsverhalten (M)

Melanie Hartmann
Hochschule Anhalt, Köthen
Optimierung der Temperaturmessung an einem infrarot Tabber-Stringer (B)

Benjamin Heiz
Ecole Européenne d'Ingénieurs en Génie des Matériaux EELGM in Nancy
Tribological testing and evaluation of high-temperature resistant wear-protection coatings (M)

Anne HERNSDORF
Hochschule Merseburg
Einfluss des Benetzungsverhaltens auf die Verbindungsqualität und die Kontakteigenschaften typischer Lötwerkstoffe für die Solarverschaltung (B)

PERSONEN, AUSBILDUNG, EREIGNISSE

- Peng Huang
Hochschule Anhalt, Köthen
Voltammetrische, konduktometrische und impedanz-spektroskopische Untersuchung leitfähiger Schichten (B)
- Vinay Joshi
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Structure property correlations of polyamide-6 based blends and nanocomposites processed by direct injection molding (M)
- Frank Klipfel
Hochschule Heilbronn
Konzeption, Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Ventilverschleißprüfstandes (M)
- Doreen Kropp
Hochschule Anhalt, Köthen
Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen von Biofilmen auf Umkehrosmosemembranen (M)
- Tobias Kürbitz
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Fluoreszenzmikroskopische und -spektroskopische Untersuchungen von Biofilmen auf ausgewählten Kunststoffmaterialien (M)
- Jagadish Kumar
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Optical properties of biofunctional polymer nanoparticle composite films (M)
- Mard Lasu
Hochschule Offenburg
Konstruktion, Montage, Funktionstest und Inbetriebnahme einer Prüfvorrichtung für Ermüdungstests an CFK-Material mit zusätzlicher Erstellung einer Simulationsvorlage (B)
- Richard Leute
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Form von TiO₂ Nanopartikeln abgeleitet aus ab-initio Rechnungen (B)
- Stefan Löwe
Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg
Tragverhalten von nachträglichen Befestigungen in Sandwichelementen mit Polyurethan-Hartschaumkern und Naturfaserdecklage unter Zugbelastung (M)
- Erika Elizabeth Moya Lopez
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Mikrostrukturbewertung im Einlaufprozess am Beispiel von 56NiMoCrV7 poliert gegen C85 poliert (D)
- Julian Maier
Hochschule Offenburg
Konzeption und Durchführung mikromechanischer Belastungstests an thermoplastischen Verbundwerkstoffproben (B)
- Gabriele Merkel
Hochschule Merseburg
EVA als Grundmaterial vernetzbarer Laminierfolien (B)
- Kevin Meyer
Hochschule Anhalt, Köthen
Mikrostrukturelle Charakterisierung von Abtragsmechanismen beim Diamantdrahtsägen von Siliziumwafern (B)
- Stefanie Meyer
Hochschule Merseburg
Untersuchung und Charakterisierung des Plastifizierungsverhaltens von oberflächenmodifizierten Getreidemehlen mittels rheologischer Verfahren (B)
- Steve Morning
Hochschule Anhalt, Köthen
Untersuchung und Diskussion relevanter Einflussfaktoren der potenzialinduzierten Degradation (PID) (B)
- David Müller
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Kostenbetrachtung für die Dachinstallation von Solarmodulen und -systemen (M)
- Pierre Nollau
Hochschule Anhalt, Köthen
Oberflächenmodifizierung von Verpackungsfolien durch Nanostrukturierung und deren lebensmittelspezifische Charakterisierung (M)
- Ruben Otero (*)
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Erzeugung verschiedener Texturformen und -anordnungen am Faserlaser sowie deren tribologische Charakterisierung (B)
- Marco Pierangeli (*)
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Tribological characterization of cemented carbide in unlubricated sliding contact with steel (M)
- Philipp Raith
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Entwurf einer Steuerung für eine Faservereinzelnungsanlage (M)
- Thiemo Röder
Hochschule Offenburg
Aufbau und Erprobung einer Vier-Punkt-Biegeeinrichtung für die Durchführung von schnellen, crashartigen Hochgeschwindigkeitsversuchen (B)
- Tobias Schlarb
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Einlaufverhalten einer untereutektischen AlSi-Legierung unter Berücksichtigung des Ausgangsgefüges (M)
- Almut Schroer
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Einfluss des Übertrags im Tribosystem Polymer/Stahl auf das Reibungs- und Verschleißverhalten (D)
- Timo Schweiger
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Simulationsrechnungen mittels Dichte-Funktional-Theorie zum Adsorptionsverhalten von Fettsäuren an amorphem Kohlenstoff (B)
- Marc Seidelmann
Hochschule Offenburg University of Applied Sciences
Tribologische Untersuchungen an geprägten Polymerstrukturen (M)
- Fangfang Shen
Hochschule Anhalt, Köthen
Entwicklung, Anpassung und Erprobung eines neuen Antragswerks für funktionelle Nassbeschichtung (B)
- Patrick Singer
Hochschule Merseburg
Aufbau eines Versuchsstandes zum mechanischen Ritzen von Solarzellen auf einem XYZ-Präzisionsverfahretisch (M)
- Hanna Strecker
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Erforschung von PVD-Abscheidungsprozessen zur Erzeugung von MAX-Phasen-Materialien (B)
- Thomas Winter
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Berechnung von Karosserierahmen aus naturfaserverstärkten Kunststoffen mit Hilfe der Methode der finiten Elemente (FEM) (B)
- Sebastian Wöhr
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Einfluss der Pressrichtung der Kohlebürsten auf das tribologische System des Elektromotors (D)
- Johanna Zembrod
Hochschule Anhalt, Köthen
Erfassung von unterschiedlichen mechanischen Belastungssituationen und Untersuchung der Kaubelastung an einem rekonstruierten Humanunterkiefermodell (M)
- Xiaoging Zhang (*)
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Erfassung, Bewertung, Optimierung des Ölkreislaufes hinsichtlich des Einflusses auf das tribologische Verhalten eines NFZ-Motors (M)
- Zilong Zhang
Technische Universität Braunschweig
Weiterentwicklung von fortschrittlichen bruchmechanischen Ansätzen für die Bewertung von Schweißverbindungen (M)
- Fernando Zuniga
Hochschule Offenburg
Economic considerations in context of make-or-buy decisions for the manufacturing of special solar modules (M)
- (*) durch das Fraunhofer IWM betreute Studentische Arbeiten**
- Gastwissenschaftler**
- Cecilia Aguiar da Silva
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
01.02.-31.12.14
- Adham Al-Sayyad
German University in Cairo, Ägypten
10.07.-31.12.14
- Andrew Anstey
Universität Guelph, Ontario, Kanada
01.05.-31.08.14
- Shashi Bahl
Hochschule Anhalt, Köthen
01.01.-31.12.14
- Andre Bärthel
Universität Leipzig
01.05.-31.10.14
- Prof. Matthew Begley
Humboldt Preisträger, University of California, Santa Barbara, USA
10.7.-30.9.14
- Anne Behrens
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
01.01.-30.09.14
- Ahmed Benlarabi
Institut »IRESEN« Rabat, Marokko
20.01.-07.02.14
- Alejandro Romero Gómez
Massachusetts Institute of Technology MIT, USA
01.06.-08.08.14
- Paula Casajus Grassi
Universität Madrid, Spanien
01.01.-31.01.14
- Annegret Jentsch
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
01.01.-31.12.14
- Prof. Dr. Iyas S. Khader
Deutsch-Jordanische Universität, Amman, Jordanien
20 Tage 2014
- Oliver Lehmann
Märkisches Werk GmbH
01.03.-31.12.14
- Lin Liu
School of Mechanical Engineering, Changzhou University, China
01.01.-15.05.2014
- Sebastian Loos
Fachhochschule Südwestfalen, Soest
01.01.-31.12.14
- Dr. Tianbao Ma
Tsinghua University, China
01.01.-25.01.14
- Dr. Javorina Milosevic
SpinPlant GmbH, Leipzig
17.06.-31.12.14
- Mohamed Mohamed
German University in Cairo, Ägypten
15.06.-15.08.14

Zakaria Naimi Institut »IRESEN« Rabat, Marokko 20.01.-07.02.14	Hochschule Offenburg Werkstoffe in der Medizintechnik und Konstruktionselemente Dr. Raimund Jaeger	Karlsruher Institut für Technologie KIT Atomistische Simulation und Molekulardynamik Prof. Dr. Peter Gumbsch	Girls' Day / Boys' Day – Zukunftstag für Mädchen und Jungen 27.03.14, Halle (Saale) und Freiburg
Dr. Stefan Oelting ANTEC Solar GmbH, Arnstadt 01.01.-31.12.14	Karlsruher Institut für Technologie KIT Angewandte Werkstoffsimulation Prof. Dr. Peter Gumbsch, Anastasia August, Dr. Claas Bierwisch, Dr. Dirk Helm, Dr. Silke Sommer, Dr. Matthias Weber	Tribologie B Prof. Dr. Matthias Scherge Dr. Martin Dienwiebel	Einweihung Fraunhofer AWZ Soest 20.06.14, Soest
Prof. Tony Paxton King's College London, England 01.07.-31.07.14	Versagensverhalten von Konstruktionswerkstoffen: Verformung und Bruch Prof. Dr. Peter Gumbsch, Dr. Patric Gruber	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Experimentelle Methoden der Polymerphysik Prof. Dr. Mario Beiner	13. Lange Nacht der Wissenschaften 04.07.14, Halle (Saale)
Andreas Reimer Hochschule Offenburg 01.01.-31.05.14	Prozesssimulation in der Umformtechnik Dr. Dirk Helm	Stellenbosch University, Südafrika Electron Microscopy of Polymers Dr. Sven Henning, Goerg H. Michler	Messen mit Fraunhofer IWM-Beteiligung 8th International Conference on Integrated Power Electronics Systems CIPS 2014 25.-27.02.14, Nürnberg
Prof. Dr. Uldis Rogulis Universität Lettlands, Riga, Lettland 01.09.-30.09.14	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Halbleiter- und Dünnschichttechnologie, Siliziumchemie Prof. Dr. Ralph B. Wehrspohn	Technische Universität Ilmenau Werkstoffkunde der Kunststoffe Dr. Sven Henning	JEC Composite Europe Show and Conferences 11.-13.03.14, Paris, Frankreich
Dr. Dariush Seif Humboldt-Stipendium, University of California, LA, USA 01.01.-31.12.14	Universität Siegen Composites I – Verbundwerkstoffe Dr. Jörg Hohe	Vom Fraunhofer IWM organisierte Fachveranstaltungen Process-dependent Microstructure Changes in Solid-Liquid Interdiffusion Interconnects for 3D Integration 07.02.14, Halle (Saale)	SMT Hybrid Packaging - internationale Fachmesse für Systemintegration in der Mikroelektronik, 06.-08.05.14, Nürnberg
Tristan Sharp Johns Hopkins University, Baltimore, USA 15.01.-15.04.14	Vorlesungen SS 2014 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Theoretical Models for Magnetic Solids Prof. Dr. Christian Elsässer	Workshop Advanced failure analysis and reliability assessment in 3D and herogenous microelectronic integration 09.-10.04.14, Halle (Saale)	PCIM Europe 2014 - International Conference and Exhibition for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management 20.-22.05.14, Nürnberg
Vorlesungen WS 2013/2014 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Theoretical Models for Magnetic Solids Prof. Dr. Christian Elsässer	Vorlesungen SS 2014 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Theoretical Models for Magnetic Solids Prof. Dr. Christian Elsässer	3rd European Symposium on Friction, Wear and Wear Protection 06.-08.05.14, Karlsruhe	Electronic Components and Technology Conference (ECTC) 2014 27.-30.05.14, Lake Buena Vista, FL, USA
Electronic Structure of Matter Prof. Dr. Michael Moseler Dr. Michael Walter	Computational Materials Science Prof. Dr. Michael Moseler Dr. Michael Walter	Semiconducting Oxides: Novel Materials and Applications 03.06.14, Halle (Saale)	Composites Europe, 9. Europäische Fachmesse & Forum für Verbundwerkstoffe, Technologie und Anwendungen 07.-09.10.14, Düsseldorf
Hochschule Anhalt Köthen Siliziumfertigung Prof. Dr. Jörg Bagdahn	Burg Giebichenstein Kunsthochschule, Halle Werkstoffe und Konstruktion Andreas Krombholz	Workshop Multiscale Lifetime Modeling for Ceramics 29.-30.09.14, Karlsruhe	Glasstec International Trade Fair for Glass Produktion, Processing, Products 21.-24.10.14, Düsseldorf
Mikrostrukturdiagnostik in der Photovoltaik Prof. Dr. Manfred Fütting	Hochschule Anhalt Köthen Advanced PV English Prof. Dr. Jörg Bagdahn	Workshop Hochleistungskeramik »Teil III: Konstruktion, Prüfung« 13.-14.11.14, Freiburg	Erteilte Patente 2014 Busch, M.; Wüstenhagen, S. Temperierbare Vorrichtung zur Anordnung einer beliebigen Anzahl einzelner Batteriezellen Patent-Nr. DE 10 2010 046 933
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig HTWK Grundlagen der Statik und Festigkeitslehre Prof. Dr. Stephan Schönfelder	Hochschule Merseburg Elektronenmikroskopie Stand und Trends Prof. Dr. Manfred Fütting	Symposium »Polymere tribologisch nutzen« Teil einer Seminarreihe des Mikro-Tribologie Centrums µTC 25.-26.11.14, Freiburg	Kailer, A.; Amann, T.; Krummhauer, O.; Gumbsch, P. Vorrichtung und Verfahren zum Betrieb eines tribologischen Bauteils Patent-Nr. DE 10 2010 009 507
Technische Mechanik I Prof. Dr. Stephan Schönfelder	Hochschule Merseburg Auslegung, Zuverlässigkeit und Diagnostik von Mikrosystemen Prof. Dr. Matthias Petzold, Frank Altmann, Dr. Sebastian Brand, Michél Simon-Najasek, Dr. Andreas Graff, Dr. Stefan Schulze, Georg Lorenz, Dr. Michael Krause	Weitere öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen »Jugend forscht« Regionalwettbewerb 2014 25.02.14, Halle (Saale)	Verfahren zur Herstellung eines Schaumstoffes und Formkörper Patent-Nr. DE 10 2010 029 613
Hochschule Merseburg Polymerphysik Prof. Dr. Mario Beiner		Tag der Berufe 05.03.14, Halle (Saale)	Naumann, V.; Lausch, D.; Hagendorf, C.; Bagdahn, J. Verfahren zur Prüfung der Anfälligkeit für potentialinduzierte Degradation bei Komponenten von Solarmodulen Patent-Nr. DE 10 2012 022 825
Photovoltaik (MMIP) Dr. Christian Hagendorf, Dr. Matthias Ebert, Prof. Dr. Jens Schneider, Dr. Sylke Meyer, Prof. Dr. Stephan Schönfelder, Dr. Stefan Schulze, Dr. Marko Turek			Rodriguez, M.; Riedel, H.; Ziehstein zur Querschnittsreduzierung von Drähten Patent-Nr. DE 10 2008 053 586
Einführung in die Mikrosystemtechnik Prof. Dr. Matthias Petzold, Frank Altmann, Michél Simon-Najasek			

VERÖFFENTLICHUNGEN IN REFERIERTEN ZEITSCHRIFTEN UND REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN

Ahrem, H.; Pretzel, D.; Endres, M.; Conrad, D.; Courseau, J.; Müller, H.; Jaeger, R.; Kaps, C.; Klemm, D.O.; Kinne, R.W.

Laser-structured bacterial nanocellulose hydrogels support ingrowth and differentiation of chondrocytes and show potential as cartilage implants

Acta biomaterialia 10/3 (2014) 1341-1353; 1045/2014

Altmann, F.; Young, R.J.

Site-specific metrology, inspection, and failure analysis of three-dimensional interconnects using focused ion beam technology

Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS 13/1 (2014) 011202 1-11; 83/2014

Bachurin D.V.; Gumbsch, P.

Atomistic simulation of the deformation of nanocrystalline palladium: the effect of voids

Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering 22/2 (2014) 025011 1-15; 1010/2014

Balski, M.; Kipphardt, H.; Berger, A.; Meyer, S.; Panne, J.

Determination of impurities in solar grade silicon by inductively coupled plasma sector field massspectrometry (ICP-SFMS) subsequent to matrixevaporatio

Analytical Methods 6/1 (2014) 77-85; 769/2013

Beckmann, C.; Hohe, J.

Effects of material uncertainty in the structural response of metal foam core sandwich beams

Composite Structures 113 (2014) 382-395; 1119/2014

Beckmann, C.; Hohe, J.

Numerical prediction of disorder effects in solid foams using a probabilistic homogenization scheme

Mechanics of Materials 78 (2014) 22-43; 1279/2014

Borchers, K.; Bierwisch, C.; Engelhardt, S.; Graf, C.; Hoch, E.; Jaeger, R.; Kluger, P.; Krüger, H.; Meyer, W.; Novosel, E.; Refle, O.; Schuh, C.; Seiler, N.; Tovar, G.; Wegener, M.; Ziegler, T.

Biocompatible elastomers for 3D biomaterials by additive manufacturing

European Cells and Materials 26/1 (2013) 1; 1094/2014

Brand, S.; Lapadatu, A.; Djuric, T.; Czurratis, P.; Schischka, J.; Petzold, M.

Scanning acoustic gigahertz microscopy for metrology applications in three-dimensional integration technologies

Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS 13/1 (2014) 011207 1-9; 6043/2014

Braun, D.; Greiner, C.; Schneider, J.; Gumbsch, P.

Efficiency of laser surface texturing in the reduction of friction under mixed lubrication

Tribology International 77 (2014) 142-147; 1161/2014

Breinlinger, T.; Kraft, T.

A simple method for simulating the coffee stain effect

Powder Technology 256 (2014) 279-284; 1076/2014

Bremerstein, T.; Hohn, S.; Potthoff, A.; Blug, B.; Amann, T.

Rheologisches Verhalten der beim Strömungsschleifen genutzten SiC-Suspensionen

Chemie Ingenieur Technik 86/3 (2014) 262-269; 1086/2014

Briot, N.J.; Kennerknecht, T.; Eberl, C.; Balk, T.J.

Mechanical properties of bulk single crystalline nanoporous gold investigated by millimetre-scale tension and compression testing

Philosophical Magazine 94/8 (2014) 847-866; 1120/2014

Casajús Grassi, P.; Winzer, N.

Intergranular stress corrosion crack propagation in rolled AZ31 Mg alloy sheet

Materials Science and Engineering A 602 (2014) 58-67; 536/2013

Castillo, E.; Fernandez-Canteli, A.; Siegele, D.

Obtaining S-N curves from crack growth curves: an alternative to self-similarity

International Journal of Fracture 187/1 (2014) 159-172; 1296/2014

Dadda, J.; Müller, E.; Perl, S.; Höche, T.; Hermann, R.; Neubrand, A.

Evolution of phase segregation and eutectic structures in AgPb18SbTe20

Physica Status Solidi A 211/6 (2014) 1276-1281; 6373/2014

de Pablos-Martin, A.; Garcia, M.A.; Muñoz-Noval, A.; Castro, G.R.; Pascual, M.J.; Durán, A.

Analysis of the distribution of Tm³⁺ ions in LaF₃ containing transparent glass-ceramics through x-ray absorption spectroscopy

Journal of Non-Crystalline Solids 384 (2014) 83-87; 781/2013

de Pablos-Martin, A.; Muñoz, F.; Mather, G.C.; Patzig, C.;

Bhattacharyya, S.; Jinschek, J.R.; Höche, T.; Durán, A.; Pascual, M.J.

KLaF₄ nanocrystallisation in oxyfluoride glass-ceramics

CrystEngComm 15/47 (2013) 10323-10332; 801/2013

Dickel, D.; Schulz, K.; Schmitt, S.; Gumbsch, P.

Continuum formulation of stress correlations of dislocations in two dimensions

Technische Mechanik 34/3-4 (2014) 205-212; 1160/2014

Dickel, D.; Schulz, K.; Schmitt, S.; Gumbsch, P.

Dipole formation and yielding in a two-dimensional continuum dislocation model

Physical Review B 90/9 (2014) 094118 1-8; 1275/2014

Dietrich, S.; Pander, M.; Sander, M.; Meier, R.; Ebert, M.

Stress analysis of manufacturing processes for solar modules

Photovoltaics International 25/3 (2014) 89-97; 6433/2014

Djenizian, T.; Hanbucken, M.; Santinacci, L.; Schweizer, S.; Simon, N.; Wehrspohn, R.B.

Electrochemistry and nanotechnologies: the new challenges foreword

Comptes Rendus Chimie 16/1 (2013) 4-6; 965/2013

Drebov, N.; Martinez-Limia, A.; Kunz, L.; Gola, A.; Shigematsu, T.; Eckl, T.; Gumbsch, P.; Elsässer C.

Ab initio screening methodology applied to the search for new permanent magnetic materials

New Journal of Physics 15 (2013) 125023 1-24; 1084/2013

Fliegner, S.; Luke, M.; Gumbsch, P.

3D microstructure modeling of long fiber reinforced thermoplastics

Composites Science and Technology 104 (2014) 136-145; 1291/2014

Goehre, F.; Otto, W.; Schwan, S.; Mendel, T.; Vergroesen, P.P.; Lindemann-Sperfeld, L.

Comparison of palmar fixed-angle plate fixation with k-wire fixation of distal radius fractures (AO, A2, A3, C1) in elderly patients

The Journal of Hand Surgery, European Volume 39/3 (2014) 249-257; 6323/2014

Graubner, G.; Rengarajan, G.T.; Anders, N.; Sonnenberger, N.; Enke, D.; Beiner, M.; Steinhart, M.

Morphology of porous hosts directs preferred polymorph formation and influences kinetics of solid/solid transitions of confined pharmaceuticals

Crystal Growth & Design 14 (2014) 78-86; 6061/2014

Greiner, C.; Schäfer, M.; Popp, U.; Gumbsch, P.

Contact splitting and the effect of dimple depth on static friction of textured surfaces

ACS Applied Materials & Interfaces 6/11 (2014) 7986-7990; 1159/2014

Grotjahn, T.; Aslanbas, Ö.; Mee, M.; König, M.; Meier, S.

Plasma parameter investigation during plasma-enhanced chemical vapor deposition of silicon-containing diamond-like carbon films

Surface and Coatings Technology 237, Proc. of ICMCTF 2013, 40th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (2013) 126-134; 357/2013

Gumbsch, P.; Syha, M.; Lödermann, B.; Trenkle, A.; Graff, A.;

Non-destructive evaluation of 3D microstructure evolution during sintering of strontium titanate

AMTC Letters 4/Special Issue: International Journal of Advanced Microscopy and Theoretical Calculations, Proc. of AMTC4, 4th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations (2014) 80-81; 1147/2014

Hanke, T.; Lucas, J.; Heilmann, A.

Einsatzverhalten von ETFE-Membrankissenkonstruktionen

Bautechnik 90/4 (2013) 239-243; 6164/2014

- Hardenacke, V.; Hohe, J.
Improved numerical determination of the effective stress within the framework of local approach cleavage models
Procedia Materials Science, Proc. of ECF20, 20th European Conference on Fracture 3 (2014) 378-384; 1263/2014
- Hassan, M.; Walter, M.; Moseler, M.
Interactions of polymers with reduced graphene oxide: van der Waals binding energies of benzene on graphene with
Physical Chemistry Chemical Physics PCCP 16/1 (2014) 33-37; 67/2013
- He, W.J.; Zhang, S.H.; Prakash, A.; Helm, D.
A hierarchical multi-scale model for hexagonal materials taking into account texture evolution during forming simulation
Computational Materials Science 82 (2014) 464-475; 1038/2014
- Hochrainer, T.; Sandfeld, S.; Zaiser, M.; Gumbsch P.
Continuum dislocation dynamics: towards a physical theory of crystal plasticity
Journal of the Mechanics and Physics of Solids 63 (2014) 167-178; 78/2014
- Hoffmann, M.W.G.; Prades, J.D.; Mayrhofer, L.; Hernandez-Ramirez, F.; Jarvi, T.T.; Moseler, M.; Waag, A.; Shen, H.
Highly selective sam-nanowire hybrid NO₂ sensor: insight into charge transfer dynamics and alignment of frontier molecular orbitals
Advanced Functional Materials 24/5 (2014) 595-602; 1089/2014
- Horbach, R.; Ludwig, N.; Loehrer, M.; Hempel, M.; Mathea, S.; Schliebner, I.; Menzel, M.; Kiesow, A.; Schaffrath, U.; Deising, H.B.
Melanin is not required for turgor generation but enhances cell wall rigidity in apressoria of the corn pathogen
Colletotrichum graminicola Molecular Plant-Microbe Interactions MPMI 27/4 (2014) 315-327; 1063/2013
- Huang, Z.; Xiong, H.; Wu, Z.; Conway, P.; Altmann, F.
Multiscale microstructures and microstructural effects on the reliability of microbumps in three-dimensional integration
Materials 6/10 (2013) 4707-4736; 945/2013
- Johnson, C.E.; Vu, M.; Johnson, J.A.; Brown, D.E.; Weber, J.K.R.; PaBlick, C.; Schweizer, S.
Mössbauer spectroscopy of europium-containing glasses: optical activator study for x-ray image plates
Hyperfine Interactions 226/1-3 (2014) 797-801; 6147/2014
- Kaib, T.; Haddadpour, S.; Andersen, H.F.; Mayrhofer, L.; Järvi, T.T.; Moseler, M.; Möller, K.C.; Dehnen, S.
Quaternary diamond-like chalcogenidometalate networks as efficient anode material in lithium-ion batteries
Advanced Functional Materials 23/46 (2013) 5693-5699; 18/2013
- Kauzlaric, D.; Dynowski, M.; Pastewka, L.; Greiner, A.; Korvink, J.G.
Sympler: symbolic particle simulator with grid-computing interface
Computer Physics Communications 185/3 (2014) 1085-1099; 1053/2014
- Karzel, P.; Ackermann, M.; Groener, L.; Reimann, C.; Zschorsch, M.; Meyer, S.; Kiessling, F.; Riepe, S.; Hahn, G.
Dependence of phosphorus gettering and hydrogen passivation efficacy on grain boundary type in multicrystalline silicon
Journal of Applied Physics (JAP) 114/24 (2013) 244902 1-11; 5/2014
- Kaule, F.; Wang, W.; Schoenfelder, S.
Modeling and testing the mechanical strength of solar cells
Solar Energy Materials and Solar Cells 120/Part A (2014) 441-447; 956/2013
- Khaddam, M.; Huet, E.; Vallée, B.; Bensedhoum, M.; Le-Denmat, D.; Filatova, A.; Rojo Jimenez, L.; Ribes, S.; Lorenz, G.; Morawietz, M.; Kiesow, A.; Mitsiadis, T.; Poliard, A.; Petzold, M.; Gabison, E.E.; Menashi, S.; Chaussain, C.
EMMPRIN/CD147 deficiency disturbs ameloblast-odontoblast cross-talk and delays enamel mineralization
Bone 66 (2014) 256-266; 6036/2014
- Koepge, R.; Wegert, F.; Thormann, S.; Schoenfelder, S.
Characterization of damage and mechanical strength of wafers and cells during the cell manufacturing process
Photovoltaics International 22 (2013) 55-62; 114/2014
- Koplin, C.; da Silva Rodriguez, G.V.; Jaeger, R.
Multiaxial strength and stress forming behavior of four light-curable dental composites
Journal of Research and Practice in Dentistry 2014 (2014) 396766 1-14; 1088/2014
- Knetsch, D.; Funk, M.; Kennerknecht, T.; Eberl, C.
Load data calculation in electric axle drives and fatigue assessment for the electric motor subsystem
Materials Testing 56/7-8 (2014) 535-541; 1301/2014
- Körbel, S.; Elsässer, C.
Alignment of ferroelectric polarization and defect complexes in copper-doped potassium niobate
Physical Review B 88 (2013) 214114 1-13; 49/2014
- Körner, W.; Elsässer, C.
Density-functional theory study of stability and subgap states of crystalline and amorphous Zn-Sn-O
Thin Solid Films 555 (2014) 81-86; 663/2013
- Körner, W.; Elsässer, C.
Density-functional theory study of stability and subgap states of crystalline and amorphous Zn-Sn-O
Thin Solid Films 555 (2014) 81-86; 1018/2014
- Köster, A.; Scherge, M.; Teipel, U.
Reibenergieverteilungen von Mahlkugelkontakten
Chemie Ingenieur Technik 86/3 (2014) 361-364; 1077/2014
- Krause, S.; Miclea, P.-T.; Steudel, F.; Schweizer, S.; Seifert, G.
Few micrometers wide, perfectly isolating scribes in transparent conductive oxide layers prepared by femtosecond laser processing
Journal of Renewable and Sustainable Energy 6/1 (2014) 011402 1-7; 6008/2014
- Krause, S.; Pfau, C.; Dyrba, M.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.
On the role of the network modifier PbO in Sm³⁺-doped borate glasses
Journal of Luminescence 151 (2014) 29-33; 6013/2014
- Kunze, T.; Posselt, M.; Gemming, S.; Seifert, G.; Konicek, A.; Carpick, R.; Pastewka, L.; Moseler, M.
Wear, plasticity, and rehybridization in tetrahedral amorphous carbon
Tribology Letters 53/1 (2014) 119-126; 23/2013
- Lagger, H.; Bierwisch, C.; Korvink, J.G.; Moseler, M.
Discrete element study of viscous flow in magnetorheological fluids
Rheologica Acta 53/5-6 (2014) 417-443; 762/2013
- Landes, C.; Ballon, A.; Ghanaati, S.; Ebel, D.; Ulrich, D.; Spohn, U.; Heunemann, U.; Sader, R.; Jaeger, R.
Evaluation of the fatigue performance and degradability of resorbable PLDLLA-TMC osteofixations
The Open Biomedical Engineering Journal 7 (2013) 133-146; 1046/2014
- Lausch, D.; Gläser, M.; Hagendorf, C.
Determination of crystal grain orientations by optical microscopy at textured surfaces
Journal of Applied Physics (JAP) 114 (2013) 194509 1-5; 1056/2013
- Lausch, D.; Hagendorf, C.
Microscopic study of defect luminescence between 0.72-0.85 eV by optical microscopy
Microscopy Research 2/1 (2014) 9-12; 55/2014
- Lausch, D.; Naumann, V.; Breitenstein, O.; Bauer, J.; Graff, A.; Bagdahn, J.; Hagendorf, C.
Potential-induced degradation (PID): introduction of a novel test approach and explanation of increased depletion region recombination
IEEE Journal of Photovoltaics 4/3 (2014) 834-840; 6133/2014
- Le Harzic, R.; Menzel, M.; Henning, S.; Heilmann, A.; Stracke, F.; Zimmermann, H.
Cross-sectional study of high spatial frequency ripples performed on silicon using nanojoule femtosecond laser pulses at high repetition rate
Applied Surface Science 305 (2014) 670-673; 6331/2014

VERÖFFENTLICHUNGEN IN REFERIERTEN ZEITSCHRIFTEN UND REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Le, H.H.; Abhijeet, S.; Ilisch, S.; Klehm, J.; Henning, S.; Beiner, M.; Sarkawi, S.S.; Dierkes, W.; Das, A.; Fischer, D.; Stöckelhuber, K.-W.; Wiessner, S.; Khatiwada, S.P.; Adhikari, R.; Pham, T.; Heinrich, G.; Radosch, H.-J.
The role of linked phospholipids in the rubber-filler interaction in carbon nanotube (CNT) filled natural rubber (NR) composites
Polymer 55/18 (2014) 4738-4747; 6441/2014
- Le, H.H.; Parsekar, M.; Ilisch, S.; Henning, S.; Das, A.; Stöckelhuber, K.-W.; Beiner, M.; Ho, C.A.; Adhikari, R.; Wießner, S.; Heinrich, G.; Radosch, H.J.
Effect of non-rubber components of NR on the carbon nanotube (CNT) localization in SBR/NR blends
Macromolecular Materials and Engineering 299/5 (2013) 569-582; 676/2013
- Le, H.H.; Sriharish, M.; Henning, S.; Klehm, J.; Menzel, M.; Frank, W.; Wießner, S.; Das, A.; Stöckelhuber, K.W.; Heinrich, G.; Radosch, H.J.
Dispersion and distribution of carbon nanotubes in ternary rubber blends
Composites Science and Technology 90 (2014) 180-186; 6327/2014
- Lenz, L.; Urban, D.; Bercieux, D.
Rashba spin-orbit interaction in graphene armchair nanoribbons
The European Physical Journal B, EPJ B 86/12 (2013) 502-510; 1047/2014
- Li, X.; Xiao, Y.; Yan, C.; Zhou, K.; Miclea, P.-T.; Meyer, S.; Schweizer, S.L.; Sprafke, A.; Lee, J.-H.; Wehrspohn, R.B.
Self-purification model for metal-assisted chemical etching of metallurgical silicon
Electrochimica Acta 138 (2014) 476-480; 6368/2014
- Lin, Y.-S.; Mrovec, M.; Vitek, V.
A new method for development of bond-order potentials for transition bcc metals
Modeling and Simulation in Materials Science and Engineering 22/3 (2014) 034002 1-22; 1095/2014
- Lorenz, M.; de Pablos-Martin, A.; Patzig, C.; Stölzel, M.; Brachwitz, K.; Hochmuth, H.; Grundmann, M.; Höche, T.
Highly textured fresnoite thin films synthesized in situ by pulsed laser deposition with CO₂ laser direct heating
Journal of Physics D: Applied Physics 47/3 (2014) 034013 1-9; 6044/2014
- Lyashenko, I.A.; Pastewka, L.; Persson, B.N.J.
Comment on »friction between a viscoelastic body and a rigid surface with random self-affine roughness«
Physical Review Letters 111/18 (2013) 189401-1; 1056/2014
- Lyashenko, I.A.; Pastewka, L.; Persson, B.N.J.
On the validity of the method of reduction of dimensionality: area of contact and average interfacial separation and contact stiffness
Tribology Letters 52/2 (2013) 223-229; 88/2013
- Mahmood, N.; Anton, A.M.; Gupta, G.; Babur, T.; Knoll, K.; Thurn-Albrecht, T.; Kremer, F.; Beiner, M.; Weidisch, R.
Influence of shear processing on morphology orientation and mechanical properties of styrene butadiene triblock copolymers
Polymer 55/16 (2014) 3782-3791; 6328/2014
- Marichal, C.; Srivastava, K.; Weygand, D.; Van Petegem, S.; Grolimund, D.; Gumbsch, P.; Van Swygenhoven, H.
Origin of anomalous slip in tungsten
Physical Review Letters 113 (2014) 025501 1-5; 1174/2014
- März, B.; Graff, A.; Klengel, R.; Petzold, M.
Interface microstructure effects in Au thermosonic ball bonding contacts by high reliability wire materials
Microelectronics Reliability 54/9-10 (2014) 2000-2005; 6275/2014
- Meißner, D.; Schoenfelder, S.; Hurka, B.; Zeh, J.; Sunder, K.; Koepge, R.; Wagner, T.; Grün, A.; Hagel, H.-J.; Moeller, H.-J.; Schwabe, H.; Anspach, O.
Loss of wire tension in the wire web during the slurry based multi wire sawing process
Solar Energy Materials and Solar Cells 120/Part A (2014) 346-355; 952/2013
- Mettenböcker, A.; Singh, T.; Singh, A.P.; Järvä, T.T.; Moseler, M.; Valldor, M.; Mathur, S.
Plasma-chemical reduction of iron oxide photoanodes for efficient solar hydrogen production
International Journal of Hydrogen Energy 39/10 (2014) 4828-4835; 27/2013
- Metzger, M.; Leidenfrost, M.; Werner, E.; Riedel, H.; Seifert, T.
Lifetime prediction of EN-GJV 450 cast iron cylinder heads under combined thermo-mechanical and high cycle fatigue loading
SAE International Journal of Engines 7/2 (2014) 1073-1083; 1178/2014
- Merkle, L.; Sonner, M.; Petzold, M.
Lifetime prediction of thick aluminium wire bonds for mechanical cyclic loads
Microelectronics Reliability 54/2 (2014) 417-424; 915/2013
- Meyer, S.; Timmel, S.; Gläser, M.; Braun, U.; Wachtendorf, V.; Hagendorf, C.
Polymer foil additives trigger the formation of snail trails in photovoltaic modules
Solar Energy Materials and Solar Cells 130 (2014) 64-70; 6335/2014
- Meyer, S.; Timmel, S.; Hagendorf, C.
Rapid determination of organic contaminations on wafer surfaces
Solid State Phenomena 219 (2014) 317-319; 6438/2014
- Meyer, S.; Timmel, S.; Richter, S.; Werner, M.; Gläser, M.; Swatek, S.; Braun, U.; Hagendorf, C.
Silver nanoparticles cause snail trails in photovoltaic modules
Solar Energy Materials and Solar Cells 121 (2014) 171-175; 1060/2013
- Meyer, S.; Wahl, S.; Molchanov, A.; Neckermann, K.; Möller, C.; Lauer, K.; Hagendorf, C.
Influence of the feedstock purity on the solar cell efficiency
Solar Energy Materials and Solar Cells 130 (2014) 668-672; 6386/2014
- Moseler, M.; Hird, J.; Pastewka, L.
Taming the untamable – the art and science of diamond polishing
Comprehensive Hard Materials, Super Hard Materials 3 (2014) 81-98; 142/2013
- Mujtaba, A.; Keller, M.; Ilisch, S.; Radosch, H.-J.; Beiner, M.; Thurn-Albrecht, T.; Saalwächter, K.
Detection of surface-immobilized components and their role in viscoelastic reinforcement of rubber – silica nanocomposites
ACS Macro Letters 3 (2014) 481-485; 6162/2014
- Müller, B.; Groscurth, S.; Menzel, M.; Rüping, B.A.; Twyman, R.M.; Prüfer, D.; Noll, G.A.
Molecular and ultrastructural analysis of forisome subunits reveals the principles of forisome assembly
Annals of Botany 113/7 (2014) 1121-1137; 6321/2014
- Naumann, F.; Brand, S.; Bernasch, M.; Tismer, S.; Czurratis, P.; Wünsch, D.; Petzold, M.
Advanced characterization of glass frit bonded micro-chevron-test samples based on scanning acoustic microscopy
Microsystem Technologies 5/19 (2013) 689-695; 523/2012
- Naumann, S.; Meyer, J.P.; Kiesow, A.; Mrestani, Y.; Wohlrab, J.; Neubert, R.H.H.
Controlled nail delivery of a novel lipophilic antifungal agent using various modern drug carrier systems as well as in vitro and ex vivo model systems
Journal of Controlled Release 180 (2014) 60-70; 6054/2014
- Naumann, V.; Lausch, D.; Hähnel, A.; Bauer, J.; Breitenstein, O.; Graff, A.; Werner, M.; Swatek, S.; Großer, S.; Bagdahn, J.; Hagendorf, C.
Explanation of potential-induced degradation of the shunting type by Na decoration of stacking faults in Si solar cells
Solar Energy Materials and Solar Cells 120/Part A (2013) 383-389; 942/2013
- Pastewka, L.; Robbins, M.O.
Contact between rough surfaces and a criterion for macroscopic adhesion
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS 111/9 (2014) 3298-3303; 1057/2014

- Patzig, C.; Dittmer, M.; Gawronski, A.; Höche, T.; Rüssel, C.
Crystallization of ZrO₂-nucleated MgO/Al₂O₃/SiO₂ glasses – a TEM study
CrystEngComm 16/29 (2014) 6578-6587; 6235/2014
- Patzig, C.; Höche, T.; Hu, Y.; Ikeno, H.; Krause, M.; Dittmer, M.; Gawronski, A.; Rüssel, C.; Tanaka, I.; Henderson, G.S.
Zr coordination change during crystallization of MgO-Al₂O₃-SiO₂-ZrO₂ glass ceramics
Journal of Non-Crystalline Solids 384 (2014) 47-54; 575/2013
- Pfau, C.; Skrzypczak, U.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Multiphonon relaxation of rare-earth ions in fluorozirconate-based glass ceramics
Journal of Physics: Condensed Matter 26/2 (2014) 025406; 6080/2014
- Pfeiffer, W.; Reisacher, E.; Windisch, M.; Kahnert, M.
The effect of specimen size on residual stresses in friction stir welded aluminium components
Advanced Materials Research 996 (2014) 445-450; 1017/2014
- Pogodina, N.V.; Amann, T.; Dold, C.; Metwalli, E.; Müller-Buschbaum, P.; Kailer, A.; Friedrich, C.
Triborheology and orientational dynamics of ionic liquid crystals
Journal of Molecular Liquids 192 (2014) 118-126; 1043/2014
- Preußner, J.; Oeser, S.; Pfeiffer, W.; Temmler, A.; Willenborg, E.
Microstructure and residual stresses of laser structured surfaces
Advanced Materials Research 996 (2014) 568-573; 1104/2014
- Preußner, J.; Oeser, S.; Pfeiffer, W.; Temmler, A.; Willenborg, E.
Microstructure and residual stresses of laser remelted surfaces of a hot work tool steel
International Journal of Materials Research 105/4 (2014) 328-336; 1028/2014
- Pujari, S.; Hoess, A.; Shen, J.; Thormann, A.; Heilmann, A.; Tang, L.; Karlsson-Ott, M.
Effects of nanoporous alumina on inflammatory cell response
Journal of Biomedical Materials Research Part A 102/9 (2013); 6163/2014
- Rapoport, L.; Moshkovich, A.; Perfiliev, V.; Lapsker, I.; Kugler, M.; Kailer, A.; Renz, A.; Hollstein, T.
High temperature friction behavior of CrVxN coatings
Surface and Coatings Technology 238 (2013) 207-215; 1044/2014
- Rehl, A.; Klimesch, C.; Scherge, M.
Low-friction, wear-resistant aluminum-silicon cylinder bore surfaces
MTZ Motortechnische Zeitschrift, worldwide 74/12 (2013) 32-37; 1055/2014
- Rennert, M.; Fiedler, S.; Nase, M.; Menzel, M.; Günther, S.; Kressler, J.; Grellmann, W.
Investigation of the migration behavior of polyisobutylene with various molecular weights in ethylene[alpha]-olefin copolymer blown stretch films for improved cling properties
Journal of Applied Polymer Science 131/10 (2014) 40239 1-13; 1062/2013
- Richter, S.; Werner, M.; Schley, M.; Schaaff, F.; Riemann, H.; Rost, H.-J.; Zobel, F.; Kuhnert, R.; Dold, P.; Hagendorf, C.
Influence of slim rod material properties to the Siemens feed rod and the float zone process
Energy Procedia, Proc. of SiliconPV 2014, 4th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics 55 (2014) 595-601; 6452/2014
- Romero, P.A.; Jarvi, T.T.; Beckmann, N.; Mrovec, M.; Moseler, M.
Coarse graining and localized plasticity between sliding nano-crystalline metals
Physical Review Letters 113/3 (2014) 036101 1-5; 1108/2014
- Schlüter, B.; Mülhaupt, R.; Kailer, A.
Synthesis and tribological characterization of stable dispersions of thermally reduced graphite oxide
Tribology Letters 53/1 (2014) 353-363; 1054/2014
- Schmid, C.; Maier, V.; Schaufler, J.; Butz, B.; Spiecker, E.; Meier, S.; Goken, M.; Durst, K.
Highly resolved analysis of the chemistry and mechanical properties of an a-C:H coating system by nanoindentation and auger electron spectroscopy
Thin Solid Films, Proc. of ICMCTF 2012, 39th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films 528 (2013) 263-268; 1058/2014
- Schröder, C.; Renz, A.; Koplín, C.; Kailer, A.
Assessment of low-temperature degradation of Y-TZP ceramics based on Raman-spectroscopic analysis and hardness indentation
Journal of the European Ceramic Society 34/16 (2014) 4311-4319; 1261/2014
- Schubert, M.C.; Schön, J.; Schindler, F.; Kwapil, W.; Abdollahinia, A.; Michl, B.; Riepe, S.; Schmid, C.; Schumann, M.; Meyer, S.; Warta, W.
Impact of impurities from crucible and coating on mc-silicon quality – the example of iron and cobalt
IEEE Journal of Photovoltaics 3/4 (2013) 1250-1258; 96/2014
- Schulz, K.; Dickel, D.; Schmitt, S.; Sandfeld, S.; Weygand, D.; Gumbsch, P.
Analysis of dislocation pile-ups using a dislocation-based continuum theory
Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering MSMSE 22/2 (2014) 025008 1-15; 1009/2014
- Schweizer, F.; Dickele, M.; Luke, M.
Application of the incremental hole-drilling method for the determination of residual stresses in glass-fiber reinforced composites
Advanced Materials Research 996 (2014) 262-268; 1282/2014
- Schweizer, F.; Dreibati, O.; Michailov, V.; Ossenbrink, R.
Rechnergestützte Vorhersage der Kaltrissneigung laserstrahlgeschweißten Bauteile aus hochfesten Stählen – Teil 2: Simulation von Gefüge, Spannungen, Dehnungen und Wasserstoffverteilungen beim Schweißen
Schweißen und Schneiden 65 (2013) 832-834; 1317/2014
- Schweizer, C.; Schlesinger, M.; Oesterlin, H.; Friedmann, V.; Bednarz, P.; Meilgen, C.; Szwedowicz, J.
Methodology for fatigue crack growth testing under large scale yielding conditions on corner-crack specimens
Engineering Fracture Mechanics 126 (2014) 126-140; 1303/2014
- Sebastiani, M.; Eberl, C.; Bemporad, E.; Korsunsky, A.M.; Nix, W.D.; Carassiti, F.
Focused ion beam four-slot milling for poisson's ratio and residual stress evaluation at the micron scale
Surface and Coatings Technology 251 (2014) 151-161; 1252/2014
- Senn, M.; Link, N.; Pollak, J.; Lee, J.H.
Reducing the computational effort of optimal process controllers for continuous state spaces by using incremental learning and post-decision state formulations
Journal of Process Control 24/3 (2014) 133-143; 1085/2014
- Skrzypczak, U.; Pfau, C.; Seifert, G.; Schweizer, S.
Comprehensive rate equation analysis of upconversion luminescence enhancement due to BaCl₂ nanocrystals in neodymium-doped fluorozirconate-based glass ceramics
Journal of Physical Chemistry C, Nanomaterials and interfaces 118/24 (2014) 13087-13098; 6210/2014
- Song, J.; Jung, J.; Um, H.; Li, X.; Park, M.; Nam, Y.; Shin, S.; Park, T.; Wehrspohn, R.B.; Lee, J.
Degradation mechanism of Al₂O₃ passivation in nanostructured Si solar cells
Advanced Materials 1/5 (2014) 1400010 1-5; 6161/2014
- Srivastava, K.; Weygand, D.; Gumbsch, P.
Dislocation junctions as indicators of elementary slip planes in body-centered cubic metals
Journal of Materials Science 49/20 (2014) 7333-7337; 1238/2014
- Steglich, M.; Zilk, M.; Bingel, A.; Patzig, C.; Käsebier, T.; Schrempel, F.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
A normal-incidence PtSi photoemissive detector with black silicon light-trapping
Journal of Applied Physics (JAP) 114/18 (2013) 183102 1-8; 932/2013

VERÖFFENTLICHUNGEN IN REFERIERTEN ZEITSCHRIFTEN UND REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN

Stölzel, M.; Müller, A.; Benndorf, G.; Lorenz, M.; Patzig, C.; Höche, T.; Grundmann, M.

Determination of the spontaneous polarization of wurtzite (Mg,Zn)O
Applied Physics Letters 104/19 (2014) 192102 1-4; 6146/2014

Stoyanov, P.; Romero, P.A.; Merz, R.; Kopnarski, M.; Stricker, M.; Stemmer, P.; Dienwiebel, M.; Moseler, M.

Nanoscale sliding friction phenomena at the interface of diamond-like carbon and tungsten
Acta Materialia 67 (2014) 395-408; 803/2013

Tritschler, M.; Butz, A.; Helm, D.; Falkinger, G.; Kiese, J.

Experimental analysis and modeling of the anisotropic response of titanium alloy Ti-X for quasi-static loading at room temperature
International Journal of Material Forming 103/10 (2013) 794-795; 334/2013

Turek, M.

Current and illumination dependent series resistance of solar cells
Journal of Applied Physics (JAP) 115/14 (2014) 144503 1-6; 6102/2014

Tutyshkin, N.; Müller, W.H.; Wille, R.; Zapara, M.

Strain-induced damage of metals under large plastic deformation: theoretical framework and experiments
International Journal of Plasticity 59 (2014) 133-151; 1135/2014

van Wijk, M.M.; Dienwiebel, M.; Frenken, J.W.M.; Fasolino, A.

Superlubric to stick-slip sliding of incommensurate graphene flakes on graphite
Physical Review B 88/23 (2013) 235423 1-6; 1042/2014

Varfolomeev, I.; Burdack, M.; Moroz, S.; Siegele, D.; Kadau, K.

Fatigue crack growth rates and paths in two planar specimens under mixed mode loading
International Journal of Fatigue 58 (2014) 12-19; 1288/2014

von Hartrott, P.; Cueva, A.; Ohmenhäuser, F.

Lebensdauerbewertung von Hochtemperaturbauteilen aus ferritischen Blechwerkstoffen
MTZ Motortechnische Zeitschrift 74/10 (2013) 812-818; 310/2013

Wehrspohn, R.B.; Schriever, C.; Schilling, J.

Inhomogeneous strain in Silicon Photonics
ECS Transactions 61/5 (2014) 161-173; 6160/2014

Weichert, N.; Hauptmann, V.; Menzel, M.; Schallau, K.; Gunkel, P.; Hertel, T.C.; Pietzsch, M.; Spohn, U.; Conrad, U.

Transglutamination allows production and characterization of native-sized ELPylated spider silk proteins from transgenic plants
Plant Biotechnology Journal 12/2 (2014) 265-275; 6325/2014

Winzer, N.; Mrovec, M.

Multiscale approaches to hydrogen-assisted degradation of metals
JOM. The journal of the Minerals, Metals & Materials Society 66/8 (2014) 1366-1367; 1304/2014

Wunscher, S.; Rasp, T.; Grouchko, M.; Kamyshny, A.; Paulus, R.M.; Perelaer, J.; Kraft, T.; Magdassi, S.; Schubert, U.S.

Simulation and prediction of the thermal sintering behavior for a silver nanoparticle ink based on experimental input
Journal of Materials Chemistry C, Materials for optical and electronic devices 2/31 (2014) 6342-6352; 1305/2014

Zeradjanin, A. R.; Menzel, N.; Schuhmann, W.; Strasser, P.

On the faradaic selectivity and the role of surface inhomogeneity during the chlorine evolution reaction on ternary Ti-Ru-Ir mixed metal oxide electrocatalysts
Physical Chemistry Chemical Physics 16/27 (2014) 13741-13747; 6094/2014

Zhang, X.; Schneider, R.; Müller, E.; Mee, M.; Meier, S.; Gumbsch, P.; Gerthsen, D.

Electron microscopic evidence for a tribologically induced phase transformation as the origin of wear in diamond
Journal of Applied Physics (JAP) 115/6 (2014) 063508 1-6; 1052/2014

Ziebarth, B.; Klinsmann, M.; Eckl, T.; Elsässer, C.

Lithium diffusion in the spinel phase Li₄Ti₅O₁₂ and in the rocksalt phase Li₇Ti₅O₁₂ of lithium titanate from first principles
Physical Review B 89/17 (2014) 174301 1-7; 1204/2014

Ziebarth, B.; Mrovec, M.; Elsässer, C.; Gumbsch, P.

Potential-induced degradation in solar cells: electronic structure and diffusion mechanism of sodium in stacking faults of silicon
Journal of Applied Physics 116/9 (2014) 093510 1-7; 1249/2014

Ziegler, T.; Kraft T.

Functionally graded materials with a soft surface for improved indentation resistance: layout and corresponding design principles
Computational Materials Science 86 (2014) 88-92; 1015/2014

ZEITSCHRIFTEN

- Gall, M.
Effiziente virtuelle Ermittlung von Kohäsivzonen-Parametern zur Simulation von Klebefügungen am Fraunhofer IWM
 Carbon Composites Magazin 1 (2014) 56; 1069/2014
- Gall, M.; Hohe, J.
Reduzierter experimenteller Aufwand durch simulationsbasierte Analysen
 Konstruktion 9 (2014) IW 4-7; 1284/2014
- Großer, S.; Theobald, J.; Hendel, R.
Laser ablation on modern solar cells
 PV Magazine 9 (2014) 80-83; 6392/2014
- Koplin, C.; Gutmann, M.
Geprägte Reibung bei Thermoplasten durch Nano-Oberflächenstrukturen
 Konstruktion 3 (2014) 14-16; 1061/2014
- Michel, P.
Verbundwerkstoffe im Automobilbau – wo geht die Reise hin?
 Konstruktion 7/8 (2014) IW2; 6334/2014
- Piedra, E.; Pfeiffer, W.
Eignungsprüfung für einzusetzende Materialien
 Konstruktion 1/2 (2014) IW 7-9; 234/2013
- Preußner, J.; Weber, M.; Helm, D.; Eisenbart, M.; Pfeiffer, K.; Klotz, U.
Charakterisierung des Ausscheidungsstatus von Cu-Ni-Si-Legierungen nach unterschiedlichen Wärmebehandlungen
 Metall: Fachzeitschrift für Metallurgie 67 (2013) 500-503; 930/2013
- Schindler, S.; Volk, M.
Multi busbar technology: increased module power and higher reliability at lower cost
 Photovoltaics International 2014 (2014) 79-86; 6168/2014
- Schneider, J.; Leers, C.
Raise your glass
 PV Magazine 10 (2013) 100-102; 842/2013
- Zeller, U.; Pander, M.; Dietrich, S.; Sander, M.; Ebert, M.
PV modules on the flow
 PV Magazine 01 (2014) 68-69; 6086/2014
- BÜCHER, BUCHBEITRÄGE**
- Jaeger, R.; Koplin, C.
Measuring and modeling residual stresses in polymer-based dental composites
 Residual stresses in composite materials; Shokrieh, M.M. (Ed.); Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK (2013) 293-310; 1068/2014
- Merklein, M.; Gröbel, D.; Gumsch, P.; Butz, A.; Helm, D.
Praxisnahe Versagensbeschreibung bei der Umformung von Feinblechen
 EFB-Forschungsbericht Nr. 394; Europäische Forschungsgesellschaft für Blechumformung e.V. (Hrsg.); EFB-Verlag, Hannover (2014) 1-96; 1148/2014
- Naumann, F.; Petzold, M.
Testing low temperature Si direct bonded interfaces for 3D micro-electronic integration, smart systems integration for micro- and nanotechnologies
 Honorary volumen on the occasion of Thomas Gessner's 60th birthday; Michel, B. (Ed.); Goldenbogen Verlag, Dresden (2014) 373-380; 6369/2014
- Pfeiffer, W.; Höpfel, H.
Peen forming of ceramics – a new chipless shaping technique
 in Proc. of 38th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites; Gyekenyesi, A.; Michael, H. (Eds.); The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, USA (2014) 8 p; 960/2013

- Schmid, T.; Wiesenfarth, M.; Hornung, T.; Gremmelspacher, M.; Manns, P.; Nitz, P.
Mass manufactured secondary optics for CPV
 in Proc. of 10th International Conference on Concentrator Photovoltaic Systems CPV-10; AIP Conf. Proc. 1616, 84; Kinsey, G. S.; Riley, D.; Kurtz, S.; Araki, K.; Baudrit, M. (Eds.); AIP Publishing LLC, Melville, NY, USA (2014) 84-87; 1302/2014
- Ziegler, T.; Jaeger, R.; Koplin, C.
A homogenization method for reliably assessing and optimizing the mechanical performance of cellular components for additive manufacturing
 in Proc. of the Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC 2014; Demmer, A. (Hrsg.); Fraunhofer Verlag, Stuttgart (2014) 345 1-4; 1330/2014
- Zimmermann, J.
Oxidation – Verderb oder Schutz
 Aus den Elfenbeintürmen der Wissenschaft 6; Neher, E.-M. (Hrsg.); Wallstein Verlag, Göttingen (2013) 103-111; 138/2014

VERÖFFENTLICHTE KONFERENZBEITRÄGE

- Andrieux, F.; Klitschke, S.; Böhme, W.; Sun, D.-Z.
Characterization and modeling of the deformation and damage of an aluminum sheet for crash
 in Proc. of 4th International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures ICILLS 2014; BISRU Blast Impact and Survivability Research Unit (Ed.); BISRU Blast Impact and Survivability Research Unit, Cape Town, South Africa (2014) 4 P; 1071/2014
- Bahl, S.; Kaufmann, K.; Schoenfelder, S.; Bagdahn, J.
Investigations and modeling for mechanical scribing of CIGS thin film solar cells
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 2430-2434; 68/2014
- Bentele, R.; Burget, S.; Wunderle, T.; Sommer, S.
Untersuchungen zum Bruchverhalten von Widerstandspunkt-schweißverbindungen in hochfesten Stählen
 in Tagungsband 46. Tagung DVM-Arbeitskreis Bruchvorgänge »Bruchmechanische Werkstoff- und Bauteilbewertung: Beanspruchungsanalyse, Prüfmethode und Anwendungen«; Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin (2014) 103-112; 1081/2014
- Bierwisch, C.; Nutto, C.; Lager, H.; Moseler, M.
Partikelbasierte Simulationen abrasiver Prozesse
 in Proc. of Neutrale Interessenvertretung der Anwender numerischer Simulationsmethoden NAFEMS Deutschsprachige Konferenz 2014. Berechnung und Simulation – Anwendungen, Entwicklungen, Trends; NAFEMS GmbH (Hrsg.); NAFEMS GmbH, Bernau am Chiemsee (2014) 198-201; 1152/2014
- Boettge, B.; Maerz, B.; Schischka, J.; Klengel, S.; Petzold, M.
High resolution failure analysis of silver-sintered contact interfaces for power electronics
 in Proc. of 8th International Conference on Integrated Power Electronics Systems CIPS 2014 (ETG-FB 141); ETG; ECPE (Hrsg.); VDE Verlag GmbH, Berlin-Offenbach (2014) 75-81; 6064/2014
- Böhme, W.; Lienhard, J.; Memhard, D.
Characterisation and modeling of adhesives for steel joints under crash loading situations
 in Proc. of 4th International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures ICILLS 2014; BISRU Blast Impact and Survivability Research Unit (Ed.); BISRU Blast Impact and Survivability Research Unit, Cape Town, South Africa (2014) 4 P; 1072/2014
- Brand, S.; Lapadatu, A.; Schischka, J.; Czurratis, P.; Tismer, S.; Petzold, M.
Acoustic GHz-microscopy for application in non-destructive inspection and metrology in 3D integration
 in Proc. of WaferBond'13 – Conference on Wafer Bonding for Microsystems and Wafer Level Integration; Knechtel, R.; Niklaus, F. (Eds.); (2013) 55-56; 1082/2013

- Bremerstein, T.; Höhn, S.; Potthoff, A.; Blug, B.; Amann, T.
Einfluss von Schneid- oder Schleifprozessen auf das rheologische Verhalten von SiC-Suspensionen
 in Tagungsband 6. Symposium Partikeltechnologie 2013; Teipel, U.; Weber, A. (Hrsg.); Fraunhofer Verlag, Stuttgart, Deutschland (2013) 71-84; 1087/2014
- Butz, A.; Zapara, M.; Helm, D.
Deformation behavior of TWIP-Steels: From experiments to constitutive modeling and simulations
 in Proc. of International Deep Drawing Research Group IDDRG 2014 – Innovations for the sheet metal industry; International Deep Drawing Research Group (IDDRG) (Ed.); International Deep Drawing Research Group (IDDRG), Paris (2014) 38-48; 1097/2014
- de Pablos-Martín, A.; Ebert, M.; Tismer, S.; Naumann, F.; Lorenz, M.; Grundmann, M.; Höche, T.
Laser bonding of sapphire wafers using a fresnoite-glass sealant
 in Proc. of WaferBond'13 - Conference on Wafer Bonding for Microsystems and Wafer Level Integration; Knechtel, R.; Niklaus, F. (Eds.); (2013) 35-36; 1085/2013
- Dietrich, S.; Sander, M.; Krause, S.; Ebert, M.; Dickel, D.E.; Schulz, K.
Influence of thin film processing on the strength of float glass and module reliability
 Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs AG, München (2013) 3084-3089; 6422/2014
- Dickel, D.E.; Schulz, K.; Schmitt, S.; Gumbsch, P.
Stress correlations of dislocations in a double-pileup configuration: a continuum dislocation density approach
 in Proc. of XII International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications COMPLAS XII; Onate, E.; Owen, D.R.J.; Peric, D.; Suarez, B. (Eds.); International center for numerical methods in engineering CIMNE, Barcelona, Spain (2013) 862-871; 1112/2014
- Eckmann, S.; von Hartrott, P.
Finite element modelling of the temperature dependent low cycle fatigue damage mechanism of an AlSi12 type alloy
 Materials Science Forum 794-796, Proc. of 14th International Conference on Aluminum Alloys ICAA14, Marthinsen, K.; Holmedal, B.; Li, Y. (Eds.); Trans Tech Publications Ltd., Durnten-Zürich, Schweiz (2014) 617-621; 1036/2014
- Farajian, M.; Nitschke-Pagel, T.; Siegele, D.
Welding residual stresses in tubular steel joints and their behavior under multiaxial loading
 in Proc. of 66th Annual Assembly Conference International Institute of Welding IIW; Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf (2013) XIII-2477-13 1-16; 1026/2013
- Fiedler, J.; Stache, P.; Theumer, T.
Mechanische und rheologische Eigenschaften von Cellulose regeneratfaserverstärktem Polypropylen hergestellt mit dem Spritzgieß-Compounder
 in Tagungsband 23. Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren Technomer 2013; Gehde, M.; Wagenknecht, U.; Bloß, P. (Hrsg.); Institut für Print- und Medientechnik Technische Universität Chemnitz (2013) 187 1-15; 47/2014
- Fromm, A.; Trondl, A.; Strecker, H.; Habedank, M.; Rees, F.; Krappitz, M.; Kübler, R.
In-field eigen oscillation-measurement for detection of UV-induced eva-degradation
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 3131-3134; 884/2013
- Gottschling, D.; Mehle, K.; Rudolph, M.; Schwan, S.; Heilmann, A.; Knoll, W. D.
Entwicklung einer neuartigen Rekonstruktionsplatte aus Kunststoff für Humanunterkiefer: Modell und Experiment
 in Tagungsband Internationale wissenschaftliche Tagung Polymerwerkstoffe Polymertec 14; Institut für Polymerwerkstoffe e.V.; Merseburg (2014) 63-73; 6489/2014
- Großer, S.; Gläser, M.; Brzuska, C.; Tänzer, T.; Schippel, F.; Hagendorf, C.
High-resolution optical and electro-optical microscopy for PV modules
 Energy Procedia 55, Proc. of 4th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2014; Weeber, A.; Aberle, A.; Brendel, R.; Cuevas, A.; Glunz, S.; Hahn, G.; Poortmans, J.; Ribeyron, P.-J.; Sinton, R. (Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande (2014) 451-455; 6393/2014
- Großer, S.; Mayerhofer, R.; Theobald, J.
Microstructure study of laser-opened rear contacts on perc solar cells
 in Proc. of 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2014; WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2014) 1395 - 1398; 6510/2014
- Großer, S.; Werner, M.; Meyerhofer, R.; Theobald, J.; Hagendorf, C.
Study on microstructure and sample modification of laser ablation processes
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EUPVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013); 67/2014
- Hoepfel, H.; Pfeiffer, W.
Shaping of ceramics using residual stresses
 Materials Science Forum 768-769, Proc. of 9th International Conference on Residual Stresses ICRS9; Kurz, S.J.B.; Mittemeijer, E.J.; Scholtes, B. (Eds.); Trans Tech Publications Ltd., Durnten-Zürich, Schweiz (2014) 478-483; 180/2012
- Hölzer, S.; Schubert, U.S.; Weidisch, R.; Gutmann, M.; Koplin, C.; Beiner, M.
Controlling the mechanical and thermal behavior by blending olefin random and block copolymers
 in Tagungsband Internationale wissenschaftliche Tagung Polymerwerkstoffe Polymertec 14; Institut für Polymerwerkstoffe e.V.; Merseburg (2014) 460-466; 6487/2014
- Jarzembowski, E.; Hartnauer, S.; Fränzel, W.; Kaufmann, K.; Scheer, R.
Investigations of the selenium to metal evaporation ratio with respect to absorber structure and electrical properties of Cu(In,Ga)Se₂ thin film solar cells
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 2319-2323; 69/2014
- John, M.
Monitoring the residual strain formation in CFRP/PMI foam core sandwich structures
 in Proc. of 16th European Conference on Composite Materials ECCM 16; European Society of Composite Materials; European Society of Composite Materials, Milan, Italien (2014) 206; 6483/2014
- Kaufmann, K.; Werner, M.; Swatek, S.; Hagendorf, C.
Influence of interfacial MoSe₂ layers on ns laser scribing of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 2349-2353; 70/2014
- Klengel, R.; Klengel, S.; Schischka, J.; Lorenz, G.; Petzold, M.
Improvement of nickel wire bonding using Al nano coating
 in Proc. of 5th Electronics System-Integration Technology Conference ESTC 2014; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C., USA (2014); 6962852 1-6; 6427/2014
- Klengel, S.; Brand, S.; Große, C.; Altmann, F.; Petzold, M.
Novel failure diagnostic methods for smart card systems
 in Proc. of 5th Electronics System-Integration Technology Conference ESTC 2014; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C. USA (2014); 6962793 1-6; 6426/2014
- Klitschke, S.; Böhme, W.; Lienhard, J.
Charakterisierung eines Dualphasenstahls unter crashartiger Belastung und bei unterschiedlichen Mehrachsrigkeitsgraden
 in Tagungsband Werkstoffprüfung 2013 Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis; Christ, H.-J. (Hrsg.); Stahleisen GmbH, Düsseldorf (2013) 65-70; 110/2014

- Krause, S.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.; Seifert, G.
Optimized scribing of TCO layers on glass by selective femtosecond laser ablation
 in Proc. of 39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference PVSC 2013; Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE (Ed.); IEEE, Piscataway, NJ, USA (2013) 2432-2435; 6078/2014
- Krause, S.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.; Seifert, G.
Precise femtosecond laser scribing for thin-film photovoltaics
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 2323-2326; 1059/2013
- Krombholz, A.; Rappthel, A.; Theumer, T.; Wüstenhagen, S.
Lightweight hollowchamber profiles made of WPC – new applications for wood polymer compounds
 in Proc. of 6th International Wood Fibre Polymer Composites Symposium 2013; Institut Technologique FCBA (Ed.); Institut Technologique FCBA, Bordeaux, France (2013) Session 2C; 71/2014
- Lausch, D.; Naumann, V.; Graff, A.; Hähnel, A.; Breitenstein, O.; Hagendorf, C.; Bagdahn, J.
Sodium outdiffusion from stacking faults as root cause for the recovery process of potential-induced degradation (PID)
 Energy Procedia 55, Proc. of 4th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2014; Weeber, A.; Aberle, A.; Brendel, R.; Cuevas, A.; Glunz, S.; Hahn, G.; Poortmans, J.; Ribeyron, P.-J.; Sinton, R. (Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande (2014) 486-493; 6398/2014
- Lienhard, J.; Böhme, W.
Charakterisierung eines CFK-RTM-Geleges bei crashartiger Zug-, Druck- und Scher-Belastung
 in Tagungsband Werkstoffprüfung 2013 Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis; Christ, H.-J. (Hrsg.); Stahlisen GmbH, Düsseldorf (2013) 229-234; 107/2014
- Lorenz, G.; Naumann, F.; Mittag, M.; Petzold, M.
Mechanical characterization of bond wire materials in electronic devices at elevated temperatures
 in Proc. of 5th Electronics System-Integration Technology Conference ESTC 2014; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Washington D.C., USA (2014) 6962748 1-6; 6428/2014
- Maier, G.; Somsen, C.; Klöwer, J.; Mohrmann, R.
Wechselwirkung zwischen Mikrostruktur und Verformung der Legierung Alloy 617B – Experimente und Modelle
 in Tagungsband 36. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe: Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe; Stahlinstitut VDEh (Hrsg.); Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf (2013) 55-68; 1019/2013
- Malik, S.; Dassler, D.; Fröbel, J.; Schneider, J.; Ebert, M.
Outdoor data evaluation of half-/full-cell modules with regard to measurement uncertainties and the application of statistical methods
 in Proc. of 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2014; WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2014) 3269-3279; 6509/2014
- Malik, S.; Ebert, M.; Naimi, Z.; Ikken, B.
Development of outdoor research platforms and tests on photovoltaic modules in the green energy park in morocco
 in Proc. of 1st Africa Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Proceedings Africa PVSEC 2014; WIP Renewable Energies (Ed.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2014) 19-23; 6421/2014
- Meier, R.; Zeller, U.
Lamb wave based yield strength characterization of solar cell interconnectors
 in Proc. of the 2013 International Congress on Ultrasonics (ICU 2013); Siong, G.W.; Piang, L.S.; Cheong, K.B. (Eds.); Research Publishing, Singapore (2013) 112-117; 955/2013
- Meyer, S.; Timmel, S.; Braun, U.; Hagendorf, C.
Polymer foil additives trigger the formation of snail trails in photovoltaic modules
 Energy Procedia 55, Proc. of 4th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2014; Weeber, A.; Aberle, A.; Brendel, R.; Cuevas, A.; Glunz, S.; Hahn, G.; Poortmans, J.; Ribeyron, P.-J.; Sinton, R. (Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande (2014) 494-497; 6400/2014
- Michailov, V.; Dreibati, O.; Ossenbrink, R.; Schweizer, F.
Rechnergestützte Vorhersage der Kalttrissneigung laserstrahlgeschweißter Bauteile aus hochfesten Stählen – Teil 1
 Schweißen und Schneiden 65 (2013) 776-781; 1319/2014
- Naumann, F.; Maerz, B.; Klengel, R.; Schischka, J.; Petzold, M.
Microstructural study of the fatigue mechanism of aluminum clad copper wires
 in Proc. of 8th International Conference on Integrated Power Electronics Systems CIPS 2014 (ETG-FB 141); ETG; ECPE (Ed.); VDE Verlag GmbH, Berlin-Offenbach (2014) 63-68; 6065/2014
- Naumann, V.; Geppert, T.; Großer, S.; Wichmann, D.; Krokoszinski, H.-J.; Werner, M.; Hagendorf, C.
Potential-induced degradation at interdigitated back contact solar cells
 Energy Procedia 55, Proc. of 4th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2014; Weeber, A.; Aberle, A.; Brendel, R.; Cuevas, A.; Glunz, S.; Hahn, G.; Poortmans, J.; Ribeyron, P.-J.; Sinton, R. (Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande (2014) 498-503; 6397/2014
- Naumann, V.; Ilse, K.; Hagendorf, C.
On the discrepancy between leakage currents and potential-induced degradation of crystalline silicon modules
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU-PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Ed.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co KG, München (2013) 2994-2997; 978/2013
- Nied, H.F.; Siegele, D.
Study of the influence of material and welding modeling on the residual stresses in longitudinal stiffeners
 in Proc. of 66th Annual Assembly Conference International Institute of Welding IIW; Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf (2013) XIII-2479-13; 976/2013
- Oswald, M.; Geppert, T.; Schott, V.; Schoenfelder, S.
Strength behavior of KOH polished texturized monocrystalline silicon wafers
 in Proc. of 7th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells CSSC7-7; Kyusho University, Research Institute for Applied Mechanics (Ed.); Kyusho University, Kasuga, Japan (2013) 233; 928/2013
- Oswald, M.; Turek, M.; Schneider, J.; Schoenfelder, S.
Evaluation of silicon sola cell separation techniques for advanced module concepts
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EUPVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 1807-1812; 1061/2013
- Otto, M.; Kroll, M.; Käsebier, T.; Ziegler, J.; Sprafke, A.N.; Wehrspohn, R.B.
Passivation of optically black silicon by atomic layer deposited Al₂O₃
 Energy Procedia 38, Proc. of 3rd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2013; Brendel, R.; Aberle, A.; Cuevas, A.; Glunz, S.; Hahn, G.; Poortmans, J.; Sinton, R.; Weeber, A. (Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande (2013) 862-865; 6444/2014
- Otto, M.; Kroll, M.; Käsebier, T.; Li, X.; Gesemann, B.; Füchsel, K.; Ziegler, J.; Sprafke, A.; Wehrspohn, R.B.
Opto-electronic properties of different black silicon structures passivated by thermal ALD deposited Al₂O₃
 in Proc. of Optical Nanostructures and Advanced Materials for Photovoltaics; OSA The Optical Society of America (Ed.); OSA Technical Digest (online), Washington, DC, USA (2013) PM1C.3; 6443/2014
- Pander, M.; Meier, R.; Sander, M.; Dietrich, S.; Ebert, M.
Lifetime estimation for solar cell interconnectors
 in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 2851-2857; 989/2013

Petsch, T.; Höche, T.

Advancing TEM preparation by considering laser micromachining smart systems integration for micro- and nanotechnologies
Honorary volumen on the occasion of Thomas Gessner's 60th birthday;
Michel, B. (Ed.); Goldenbogen Verlag, Dresden (2014) 175-180; 6370/2014

Pfau, C.; Skrzypczak, U.; Miclea, M.; Seifert, G.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Low phonon energy fluorozirconate-based glass ceramics for efficient rare-earth luminescence
in Proc. of CLEO 2014: Applications and Technology; OSA The Optical Society of America (Ed.); OSA Technical Digest (online), Washington, D.C., USA (2014) JTh2A.60; 6220/2014

Phommahaxay, A.; De Wolf, I.; Djuric, T.; Hoffrogge, P.; Brand, S.; Czurratis, P.; Philipsen, H.; Beyer, G.; Struyf, H.; Beyne, E.
Defect detection in through silicon vias by GHz scanning acoustic microscopy: key ultrasonic characteristics
in Proc. of 64th Electronic Components and Technology Conference ECTC 2014 IEEE; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.); IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ, USA (2014) 850-855; 6212/2014

Piedra, E.
Untersuchung der thermischen, mechanischen und korrosiven Degradation von Stählen in Salzsäuremelzen solarthermischer Kraftwerke
in Tagungsband Werkstoffprüfung 2013, Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis; Christ, H.J. (Hrsg.); Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf (2013) 5; 329/2013

Rösler, M.; Berthold, L.; Schischka, J.; Heneka, M.J.
Evaluation of effect pigment orientation using combined SEM, TEM and X-Ray CT analysis and conclusion for interpreting goniospectrophotometric data of effect coatings
in Proc. of 1st Asia Color Association Conference ACA2013; Faculty of Mass communication Technology, Rajamangala University of Technology (Ed.); Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Thailand (2013) 180-183; 1069/2013

Rösler, M.; Berthold, L.; Schischka, J.; Heneka, M.J.
Evaluation of effect pigment orientation using combined SEM, TEM and X-ray CT analysis and conclusion for interpreting goniospectrophotometric data of effect coatings
in Proc. of Microscopy Conference MC 2013; Reinhard, R. (Ed.); Universität Regensburg, Regensburg (2013) 414-415; 1045/2013

Rösler, M.; Mezger, N.; Goetze, S.; Berthold, L.; Schischka, J.
The correspondence between macroscopic appearance and microscopic colors investigated by light and electron
in Proc. of 1st Asia Color Association Conference ACA2013; Rajamangala University of Technology (Ed.); Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Thailand (2013) 137-140; 1068/2013

Sander, M.; Dietrich, S.; Pander, M.; Ebert, M.; Karraß, M.; Lippmann, R.; Broddack, M.; Wald, D.
Influence of manufacturing processes and subsequent weathering on the occurrence of cell cracks in PV modules
in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 3275-3279; 1054/2013

Sander, M.; Dietrich, S.; Pander, M.; Ebert, M.; Thormann, S.; Wendt, J.; Bagdahn, J.
Investigations on cracks in embedded solar cells after thermal and mechanical loading
in Proc. of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2012; Nowak, S.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2012) 3188-3193; 1055/2014

Schlesinger, M.; Schweizer, C.; Brontfeyn, Y.; Oesterlin, H.
Experimentelle Ermittlung des thermomechanischen Ermüdungsrisswachstums und theoretische Beschreibung mittels der effektiven zyklischen Rissspitzenöffnung
in Tagungsband Werkstoffprüfung 2013; Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis; Christ, H.-J. (Hrsg.); Stahleisen GmbH, Düsseldorf (2013) 48-53; 111/2014

Schlimper, R.; Vecchio, I.; Schladitz, K.; Schäuble, R.
Modellierung des Verformungs- und Versagensverhaltens von Polymerhartschäumen mit Hilfe von RVE-Modellen der Zellstruktur
in Tagungsband Internationale wissenschaftliche Tagung Polymerwerkstoffe Polymertec 14; Institut für Polymerwerkstoffe e.V., Merseburg (2014) 187-194; 6486/2014

Schmidt, I.; Trondl, A.; Kraft, T.
Modellierung und Simulation von Schädigung beim Pulverpressen
in Hager Tagungsbände Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis: Moderne Fertigungsprozesse – Qualität und Produktivität in der Pulvermetallurgie; Kolaska, H. (Hrsg.); Heimdall Verlag, Rheine (2013) Band 29; 1040/2013

Schmitt, S.; Schulz, K.; Dickel, D.; Gumbsch, P.
Linking micro- and macroscopic aspects of a dislocation based-continuum model by investigating the dislocation double pileup
PAMM 13/1, Special Issue: 84th Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics GAMM; Cvetković, L.; Atanacković, T.; Kostić, V.(Eds.); WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2013) 273-274; 80/2014

Schneider, J.; Turek, M.; Dyrba, M.; Baumann, I.; Koll, B.; Booz, T.
Combined effect of light harvesting strings, anti-reflective coating, thin glass and high UV transmission encapsulant to reduce optical losses in solar modules
in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 46-51; 73/2014

Schulenberg, L.; Sun, D.-Z.; Seelig, T.
Numerical modelling of damage initiation and failure of long fiber reinforced thermoplastics
in Proc. of Internationale wissenschaftliche Tagung Polymerwerkstoffe »polymertec14«; Institut für Polymerwerkstoffe e.V. (Ed.); Hochschule Merseburg, Merseburg (2014) 494-501; 1167/2014

Schulze, V.; Michna, J.; Schneider, J.; Gumbsch, P.
Modelling of cutting induced surface phase transformations considering friction effects
Procedia Engineering 19, Proc. of 1st CIRP Conference on Surface Integrity CSI , Brinksmeier, E.; Jawahir, IS.; Meyer, D.(Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande (2011) 331-336; 1158/2014

Siegele, D.; Varfolomeev, I.; Moroz, S.; Brand, M.
Zum Einfluss von Schweißbeanspruchungen auf die Bauteilfestigkeit
in Tagungsband Internationales Symposium Schweißtechnik – Verfahren, Werkstoffe, Simulation, Band 4; Michailov, V. (Hrsg.); Shaker Verlag GmbH, Aachen (2013) 93-109; 927/2013

Skrzypczak, U.; Pfau, C.; Seifert, G.; Schweizer, S.
Rate equation analysis of nanocrystal-enhanced upconversion in neodymium-doped glass ceramics
in Proc. of SPIE 9140, Photonics for Solar Energy Systems V; Wehrspohn, R.B.; Gombert, A. (Eds.); SPIE, Bellingham, WA, USA (2014) 91400J; 6154/2014

Stedel, F.; Dyrba, M.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Optical spectroscopy of borate glasses doped with trivalent rare-earth ions
in Proc. of Materials Science & Technology Conference and Exhibition 2013 MS&T'13; Association for Iron & Steel Technology (Ed.); Curran Associates, Inc., Red Hook, NY, USA (2013) 2443-2448; 6079/2014

Stedel, F.; Loos, S.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Trivalent rare-earth ions as photon down-shifter for photovoltaic applications
in Proc. of SPIE 9140, Photonics for Solar Energy Systems V; Wehrspohn, R.B.; Gombert, A. (Eds.); SPIE, Bellingham, WA, USA (2014) 91400I; 6153/2014

Straub, T.; Kennerknecht, T.; Eberl, C.
Untersuchung von Ermüdungsmechanismen von Kfz Materialien in kleinen Volumina im VHCF-Bereich mittels Simulation und multiaxialen Mikro-Ermüdungsversuche
in Tagungsband Werkstoffprüfung 2013, Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis; Christ, H.J. (Hrsg.); Stahleisen GmbH, Düsseldorf (2013) 91-96; 112/2013

Sun, D.Z.; Ma, Y.; Andrieux, F.

Modeling of the influence of pore morphology on damage behavior of an aluminum die casting alloy

Materials Science Forum 794-796, Proc. of 14th International Conference on Aluminum Alloys ICAA14; Marthinsen, K.; Holmedal, B.; Li, Y.(Eds.); Trans Tech Publications Ltd., Durnten-Zürich, Schweiz (2014) 319-324; 1166/2014

Sun, D.-Z.; Ockewitz, A.; Falkinger, G.; Böhme, W.

Characterization and modeling of crash behavior of thick-walled aluminum profiles

in Proc. of 4th International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures ICILLS 2014; BISRU Blast Impact and Survivability Research Unit (Ed.); BISRU Blast Impact and Survivability Research Unit, Cape Town, South Africa (2014); 1-4; 1064/2014

Theobald, J.; Mayerhofer, R.; Großer, S.; Harney, R.; Schneider, A.

Extended study on short pulse laser ablation of dielectric layers with UV and VIS laser wavelength and pulse durations from fs to ns

in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EUPVSEC 2013; WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG (Hrsg.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur, München (2013) 1231-1235; 54/2014

Tisner, S.; Brand, S.; Klengel, S.; Petzold, M.; Czurratis, P.

Acoustic imaging of bump defects in flip-chip devices using split spectrum analysis

in Proc. of 2013 International Ultrasonics Symposium IUS Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE; Sanie, J. (Ed.); Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, Washington D.C., USA (2013) 950-953; 1022/2013

Turek, M.; Friedrich, D.; Eiternick, S.

Spatially resolved mapping of electrical cell parameters based on small sized solar cells

in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 1566; 74/2014

Turek, M.; Lausch, D.

Solar cell performance prediction using advanced analysis methods on optical images of as-cut wafers

Energy Procedia 38, Proc. of 3rd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2013; Brendel, R.; Aberle, A.; Cuevas, A.; Glunz, S.; Hahn, G.; Poortmans, J.; Sinton, R.; Weeber, A. (Eds.) Elsevier BV, Amsterdam, Niederlande(2013) 190-198; 72/2014

Varfolomeev, I.; Ivanov, D.; Siegele, D.

A critical evaluation of methods for computing small failure probabilities for ductile piping components

in Proc. of American Society of Mechanical Engineers (ASME) Pressure Vessels and Piping Conference. Vol.1: Codes and Standards; American Society of Mechanical Engineers (ASME) (Ed.); American Society of Mechanical Engineers (ASME), New York City, NY, USA (2011) 561-568; 966/2013

Varfolomeev, I.; Mayinger, W.

Consideration of thermally induced bending load in failure assessment of piping components

in Proc. of American Society of Mechanical Engineers (ASME) Pressure Vessels and Piping Conference. Vol.3: Design and Analysis; American Society of Mechanical Engineers (ASME) (Ed.); American Society of Mechanical Engineers (ASME), New York City, NY, USA (2011) 603-608; 964/2013

Varfolomeev, I.; Moroz, S.; Siegele, D.; Baumgartner, J.

Fatigue life and crack growth assessment for welded longitudinal stiffeners

in Proc. of 66th Annual Assembly Conference International Institute of Welding IIW; Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (Ed.); Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf (2013) Paper XIII-2489-13; 1025/2013

Varfolomeev, I.; Windisch, M.; Sinnema, G.

Application of the strain-based FAD to failure assessment of surface cracked components

in Proc. of IJSI 2014, 2nd International Conference of the International Journal of Structural Integrity; Moreira, P. (Ed.); Instituto de Engenharia Mecanica e Gestao, Porto, Portugal (2014) Paper-163; 1016/2014

von der Wehd, C.; Lube, T.; Khader, I.; Kailer, A.; Degenhardt, U.; Berroth, K. **Zyklische Ermüdung technischer Keramiken in wässrigen Medien** in Tagungsband Werkstoffprüfung 2013, Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis; Christ, H.-J. (Hrsg.); Stahleisen, Düsseldorf, Deutschland (2013) 379-384; 87/2014

Werner, P.; Blumtritt, H.; Graff, A.; Dauphin, Y.; Zlotnikov, I.; Fratzl, P. **Structural analysis of the bio-silica spicule of the sponge monorhaphis chuni**

in Proc. of Microscopy Conference MC 2013; Reinhard, R. (Ed.); Universität Regensburg (2013) 248-249; 1052/2013

Winzer, N.; Mrovec, M.; Di Stefano, D.; Katzarov, I.; Paxton, A.

Industrially-relevant multiscale modelling of hydrogen embrittlement

in Proc. of International Hydrogen Conference IHC 2012; Somerday, B.; Sofronis, P. (Eds.); ASME Press, New York City, NY, USA (2014) 737-745; 270/2012

Winzer, N.; Höpfel, H.; Casajus, P.

Development of a generalised understanding of environmentally-assisted degradation of magnesium-aluminium alloys

Magnesium Technology 2014; Alderman, M.; Manuel, M.V.; Hort, N.; Neelameggham, N.R. (Eds.) John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NY, USA (2014) 365-372; 771/2013

Zapara, M.; Butz, A.; Helm, D.

Macroscopic modeling and simulations of material behavior of modern twinning-induced plasticity steels

in Proc. of 4th International Conference on Steels in Cars and Trucks SCT 2014; Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (Ed.); Stahleisen GmbH, Düsseldorf (2014) 689-696; 1096/2014

Zeller, U.; Pander, M.; Hanifi, H.; Dietrich, S.; Ebert, M.

The influence of air flow on the temperature distribution within crystalline solar modules

in Proc. of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC 2013; Mine, A.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2013) 3232-3236; 1057/2013

Zierdt, P.; Henning, S.; Reichert, V.; Studlek, J.; Putsch, P.

Direct blending injection molding of polymamide 6 blends

in Tagungsband Internationale wissenschaftliche Tagung Polymerwerkstoffe Polymertec 14; Institut für Polymerwerkstoffe e.V.; Merseburg (2014) 791-797; 6488/2014

Impressum

Redaktion

Katharina Hien
Clemens Homann
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 5142-154
Fax +49 761 5142-510

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

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

Bildquellen

Titelbild, Seite 3, 14, 15 3.v.o., 17 links, 20, 21 2.v.o., 27
2.v.o., 35 3.v.o., 47, 79: © Achim Käflein, Freiburg
Seite 11: © Dirk Mahler
Seite 15 2.v.o., 21 1.v.o. und 3.v.o., 27 außer 2.v.o.,
35 außer 2.v.o., 43 2.v.o.: © S.K.U.B. Fotostudio,
Freiburg
Seite 15 1.v.o., 17 links: © Bildtechnik Michael Spiegel-
halter, Merdingen
Seite 22: © Swerea Kimab AB
Seite 23 links: © Faurecia Autositze GmbH
Seite 23 rechts: © DYNAmore GmbH
Seite 26, 34, 42, 43 1.v.o.: © Alex Jung, Emmendingen
Seite 37 links: © MEV-Verlag
Seite 48, 49, 56, 57, 62, 63, 68, 69, 76: © Matthias
Ritzmann, Halle
Seite 51 links: © Marangoni GmbH
Seite 51 Mitte und rechts: © Rösler Tyre Innovators
GmbH & Co. KG

Alle übrigen Abbildungen: © Fraunhofer IWM

ISSN 1616-3591