



Schutz vor »Korrosion Plus«
Energie nutzen statt vernichten
Seite 2

Solarmodule
Vakuumisolierglas
Seite 3

Mikrotribologie
Leistungselektronik
Seite 4

1 • 2012



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das Thema dieses IWM Reports ist in aller Munde, und es ist gleichzeitig ein gewichtiger Baustein der Wettbewerbsfähigkeit der exportstarken deutschen Industrie: Energieeffizienz. Wer Energie spart, senkt Kosten – in der Fertigung genauso wie als Nutzer eines energieeffizienten Produkts. Mehr Effizienz entsteht durch mehr Leistung. Das wiederum schraubt die Anforderungen an Werkstoffe in die Höhe.

Werkstoffmechanische Lösungen sorgen an vielen Stellen für Effizienzgewinne. So etwa bei der Lagerung von Windkraftträgern, bei Folien für Solarmodulen, bei der Energiespeicherung in Salzschnmelzen oder der Verbindungstechnik für die Leistungselektronik.

Einen Teil unserer Beiträge zur Energieeffizienz stellt Ihnen dieser IWM Report vor. Wir freuen uns auf weitere gemeinsame Ansatzpunkte.

Ich wünsche eine interessante Lektüre

Ihr Ralf Wehrspohn
Sprecher der Institutsleitung

Energiequelle Effizienz senkt Verbrauch und Kosten

»Die nächsten zehn Jahre sind entscheidend«, hatte die Internationale Energieagentur in ihren Perspektiven 2010 verkündet. Der Grund: Weltweit steigen Energieverbrauch, Emissionen und die Preise. Effizienzgewinne sind entscheidend – betriebswirtschaftlich und volkswirtschaftlich.

Energieeffizienz habe »dominierende Bedeutung für die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauchsentwicklung in der Industrie«, heißt es im Bericht des Umweltbundesamts »Energieeffizienz in Zahlen« von 2011. Im Verkehrssektor ist der Verbrauch zwar gestiegen, aber umgerechnet auf den Personenkilometer zwischen 1995 und 2008 auch dort um 12 Prozent zurückgegangen.

»Effizienz ist die Triebfeder unserer Arbeit über alle Branchen hinweg«, meint IWM-Mitarbeiter Dr. Wulf Pfeiffer. Das Potenzial ist unumstritten: Elektrische Antriebe verursachen zwei Drittel des industriellen Stromverbrauchs in Deutschland, drei bis vier Kraftwerke beziehungsweise mehr als 4 000 Megawatt ließen sich regelungstechnisch einsparen, hat das UBA ermittelt. Effiziente Fahrzeugtechnik kann, so das Öko-Institut im Januar 2012, die Treibhausgasemissionen des Pkw-Verkehrs bis 2030 um weitere 25 Prozent reduzieren.

Optimierte Pumpensysteme, Lager und Turbinen, effiziente Beleuchtung, Motoren mit elektrischen anstatt hydraulischen Aggregaten oder energieeffiziente Prozessoren in Datenzentren, für den Standby-Betrieb und bei Klimaanlage: »Alle diese

Neuerungen stellen hohe Anforderungen an Werkstoffe und an unser Know-how«, betont Pfeiffer (im Interview auf Seite 2). Derzeit arbeitet das Fraunhofer IWM unter anderem daran, die Mikroelektronik fit zu machen für hohe Spannungen und Temperaturen, die Reibungsverluste in Motoren zu minimieren und Werkstoffe für Solarkraftwerke und Windkraftanlagen zu qualifizieren.

Die Industrie hat bereits begonnen in die »intelligente Energiequelle Energieeffizienz« (Umweltbundesamt) zu investieren. Von 1990 bis 2006 stieg die Produktion weltweit um 45 Prozent, der Energieverbrauch blieb stabil. In Deutschland hat die Industrie ihren Verbrauch sogar deutlich gesenkt – trotz Wachstum. »2010 sind die Treibhausgasemissionen Deutschlands gegenüber 1990 um fast 25 Prozent zurückgegangen«, erklärte Bundesumweltminister Dr. Norbert Röttgen Mitte Januar. Doch der Druck bleibt, Energie wird knapper: Auch 2009 sorgte noch die Kohle für 50 Prozent der Stromversorgung weltweit. Aus Sonne, Wind und Biomasse kamen laut Internationaler Energieagentur nur 3 Prozent der globalen Stromproduktion. »Effizienz entsteht durch intelligente Lösungen, und zwar dort, wo Energie erzeugt, umgewandelt oder verbraucht wird. Der Schlüssel dazu sind leistungsfähige Materialien, Designs und Herstellungsprozesse«, erläutert der geschäftsführende Institutsleiter des Fraunhofer IWM in Freiburg und Halle, Prof. Dr. Ralf Wehrspohn, »und das sind klassische Felder der werkstoffmechanischen Forschung«.

Korrosion analysieren und verhindern
Schutz vor »Korrosion Plus«



Es ist die Kombination – korrosive Medien einerseits, dazu hohe Temperaturen und Spannungen –, die das Fraunhofer IWM auf den Plan ruft. Derzeit arbeitet das Institut in Freiburg an der Qualifizierung von Werkstoffen für neue Kraftwerke.

Beispiel Solarkraftwerk: Wie lässt sich Sonnenenergie speichern, wenn sie nicht sofort komplett in ein Stromnetz eingeleitet werden kann? Und das bei extremen Lastwechseln tags und nachts, etwa in einer Wüste? Das Fraunhofer IWM investiert hier, um seine Expertise zu Materialfragen in konventionellen Kraftwerken nun auch für erneuerbare Energien einzusetzen und auszubauen.

In solarthermischen Kraftwerken dient heute Salzschnmelze als Energieträger. Über Wärmetauscher wird Dampf mit mehr als 500 Grad Celsius erzeugt, der in Dampfturbinen den Solarstrom produziert. Rohre und Wärmetauscher sind außen der Salzschnmelze und innen dem Dampf ausgesetzt. Hinzu kommen wechselnde Belastungen durch häufiges An- und Abfahren der Solarkraftwerke.

Wie reagieren Werkstoffe auf solche kombinierten Beanspruchungen? »Hier muss noch viel Basiswissen geschaffen werden«, erläutert Dr. Wulf Pfeiffer, Leiter des Geschäftsfelds Prozess- und Werkstoffbewertung am Fraunhofer IWM in Freiburg, die Mitarbeit im Forschungsprojekt mehrerer Fraunhofer-Institute zu erneuerbaren Energien. Das ermittelt das IWM zunächst in Prüfständen, die es für die experimentelle Material- und Lebensdauercharakterisierung entwickelt. Die dort ermittelten Werte gehen in Simulationsmodelle ein, die das Materialverhalten rechnerisch vorhersagen. Auch potenzielle Schutzbeschichtungen werden auf diese Weise geprüft und optimiert. »Wir wollen marktfähige Lösungen parat haben, sobald der Markt sie braucht«, begründet Pfeiffer die Vorarbeit.

wulf.pfeiffer@iwm.fraunhofer.de

Energie nutzen statt vernichten

Der Nutzen von Energieeffizienz für die Industrie steht aus Sicht von Dr. Wulf Pfeiffer, Leiter des Geschäftsfelds Werkstoff- und Prozessbewertung, außer Frage: »Sie spart Kosten und macht unsere Auftraggeber konkurrenzfähig.«

Die Internationale Energieagentur kommt zu dem Schluss, dass sich bis 2030 weltweit der komplette aktuelle Strombedarf von USA und China einsparen ließe. Angesichts des weltweit wachsenden Energiebedarfs hat die Prognose wohl eher philosophischen Charakter. Aber mag sie nun stimmen oder nicht: Aus dem Zwang zur Energieeinsparung ergeben sich viele Forderungen an die Werkstoffmechanik.



■ Die öffentliche Energiedebatte ist geprägt von alternativen Energien und Elektromobilität.

Das ist richtig. Daran arbeiten wir natürlich mit – ob an Solarzellen, mikroelektronischen Energiewandlern, den Speichern für Solarkraftwerke oder um im Elektroauto möglichst viel Energie speichern zu können. Doch Effizienzgewinne stecken auch anderswo. Nehmen Sie den typischen Stadtzyklus bei Kraftfahrzeugen – unabhängig vom Antrieb. Wenn ich Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandle anstatt sie zu vernichten, etwa beim Bremsvorgang eines Autos, habe ich sie zur Verfügung, um nachher wieder Gas geben zu können.

Oder ein Beispiel aus der Zulieferindustrie: der Pleuel, der im Motor Kolben mit Kurbelwelle verbindet. Früher wurde er nach dem Gießen aufwändig in Halbschalen getrennt, geschliffen und verschraubt. Heute ist dank bruchmechanischer Kenntnisse und moderner Werkstoffe ein gezieltes Brechen möglich, die Halbschalen lassen sich ohne Nachbearbeitung zusammenfügen. Der Aufwand sinkt immens und der Energieverbrauch auch.

■ Welche Rolle spielen Reibung und Verschleiß?

Reibung verbraucht Energie, setzt sie um in Verschleiß oder Wärme. Wie gestalte ich Oberflächen, die sich gegeneinander bewegen? Welche Werkstoffe, Schmiermittel oder Beschichtungen wähle ich aus? Tribologische Fragestellungen nehmen in unserer Arbeit einen immer größeren Raum ein.

■ Was bedeutet der Effizienzdruck für Ihre Arbeit?

Effizienzgewinne sind meist sehr nah am Werkstoff, seinen Grenzen, seinem Aufbau. Die Werkstoffauswahl, die Optimierung von Prozessen vom optimierten Zwischenglied bei der Stahlumformung über Glasbearbeitung bis zur Halbleitertechnologie, die Substitution von Werkstoffen – all dies hängt unmittelbar mit Werkstoffmechanik zusammen. Neben Funktion und Sicherheit ist Effizienz das Ziel in allen unseren Projekten.

■ Wo ist die Verbindung?

Vielen ist die direkte Verbindung nur bei klassischen Energiethemen klar. Aber Effizienz und damit Ressourcenschonung sind wichtige Triebfedern heutiger werkstoffmechanischer Forschung. Die Lager moderner Windkraftanlagen beispielsweise sind ausgereizt. Es gibt viel zu tun, um zukünftig eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten zu erreichen.

■ Geben Sie ein paar Beispiele?

Nun, überall dort, wo Beschleunigung stattfindet, bestimmt die Masse, die ich in Fahrt bringen will, wie viel Energie ich aufwenden muss. Je leichter die Teile, umso besser. Leichtbau aber heißt, Material ausreizen, oder: schwere Stähle durch leichtere Legierungen oder faserverstärkte Verbundstoffe ersetzen. Werkstoffmechanik brauche ich, um neues Material zu prüfen und zu qualifizieren – und um nicht überdimensioniert zu bauen.

Zweites Beispiel: thermische Prozesse der Energiegewinnung. Kraftwerke arbeiten mit steigender Temperatur sehr viel effizienter. Doch umso stärker werden auch die Werkstoffe beansprucht. Wir qualifizieren sie sowohl für die thermische als auch für die höhere mechanische Beanspruchung – etwa, wenn eine Turbine schneller dreht.

Solarmodule: EVA sucht Anschluss

20 bis 25 Jahre Garantie geben die Hersteller von Solarmodulen. So lange müssen auch die transparenten Folien halten, in welche die Solarzellen eingebettet – verkapselt – sind. Wind, Wetter, UV-Strahlung und Temperaturunterschiede setzen ihnen zu. Die Herstellung steht unter Qualitäts- und Preisdruck.

Kosten sparen, Qualität steigern, Prozesse optimieren – »das geht nur mit mehr Wissen über das Materialverhalten«, betont Dr. Stefan Schulze. In seinem Team am Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle dreht sich alles um Kunststoffe für die Solarindustrie.

Lange schien EVA konkurrenzlos: Isolierend, elastisch, reiß- und wasserfest bot Ethylen-Vinylacetat, kurz EVA, ideale Eigenschaften für den Einsatz im Solarmodul. Das Dämpfungsmaterial aus der Schuhsohle hatte die NASA Mitte der 1970er Jahre für die Photovoltaik entdeckt. Noch heute werden Solarzellen meist mittels einer EVA-Matrix zum Modul zusammengesetzt. Doch Fertigungsprobleme, etwa durch ungleich verteilte Zusätze,

führen dazu, dass Modulqualität und Ertrag mit den Jahren abnehmen. Nicht vernetzte Materialien wie thermoplastische Polyolefine, kurz TPO, drängen zudem auf den Markt.

Ob EVA, TPO oder andere neuartige Verkapselungspolymere: Stets entwickelt oder optimiert das Team von Stefan Schulze (Gruppe Modulzuverlässigkeit) mit Partnern aus Forschung und Industrie – jetzt auch im Rahmen des neu gegründeten Fraunhofer-Innovationsclusters »Kunststoffe und Solar« – Materialien und Verarbeitungsprozesse etwa, indem das EVA durch UV-Strahlung anstatt bislang durch Wärme vernetzt wird.

Wie verteilen sich die Additive am besten in der Polymermatrix? Wie wird diese alterungsstabiler? Wie bringt eine Vakuumlaminiierung Solarzellen, Glas und Polymere samt elektrischem Verbinder in eine kostengünstige und optimale Struktur? »Wir bringen nicht nur das Materialwissen ein, sondern vermitteln auch zwischen den Folienherstellern, die ungern ihre Zutaten preisgeben, und den Modulherstellern«, betont Stefan Schulze.

stefan.schulze@csp.fraunhofer.de

Schmale Fenster, starke Dämmung: Vakuumisolierverglasung für Gebäude

Der Wärmedurchgangskoeffizient U_g -Wert und damit der Wärmeverlust ist unschlagbar niedrig, das Fensterelement ist im Gegensatz zu üblichen Mehrfachverglasungen extrem schmal: Vakuumisolierverglasung verspricht eine viel höhere Energieeffizienz in Gebäuden.

Die Herausforderung: das Vakuum zwischen den Glasscheiben zu schaffen und diese gasdicht abzuschließen. Sie stellt die Werkstoffmechanik vor zahlreiche Fragen. Einige davon hat das Fraunhofer IWM zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung bereits beantwortet. »Jetzt wollen wir die einzelnen Prozesse im Herstellungsverfahren stabilisieren und verknüpfen«, erläutert Tobias Rist, Wissenschaftler am Fraunhofer IWM in Freiburg.

In Japan ist Vakuumisolierverglasung bereits auf dem Markt, allerdings nur für sehr kleine Fenster. Der Grund: Bei sehr geringen Abmessungen lassen sich die beiden Glasscheiben fest verbinden. Bei üblichen Wohn- und Bürofenstern ist diese steife, direkte Verbindung aber ungeeignet: Bei großen Tempera-

turunterschieden zwischen Außen- und Innenfenster entstehen Spannungen und dadurch Risse.

Am Fraunhofer IWM hat man für Fenster konventioneller Größe einen Metallrahmen und eine Mehrlagenschicht für einen flexiblen Randverbund entwickelt, um die Glasscheiben zu verbinden, nachdem der Zwischenraum evakuiert, also die Luft entzogen wurde. Die erste keramische Schicht haftet sehr gut auf Glas. Danach wird der Metallanteil mit jeder Lage erhöht – bis zur letzten, die mit dem Metallrahmen verbunden wird.

Zuvor hatte man die Frage gelöst, wie das Vakuum geschaffen werden kann. Damit die Scheiben nicht kollabieren, wenn durch das Vakuum innen kein Luftwiderstand mehr vorhanden ist, werden viele kleine Metallzylinder auf einer Glasscheibe platziert. Dann wird die zweite Scheibe darüber gelegt. Der Clou: Die Zylinder beeinträchtigen die Optik nicht. Das Fenster wird als transparent wahrgenommen.

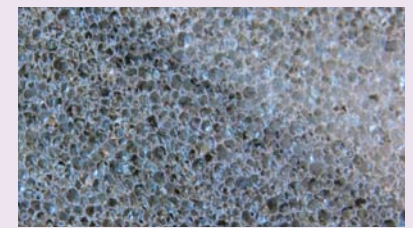
tobias.rist@iwm.fraunhofer.de



Fossile durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen, ist das Ziel von Dr. André Rapphel. Noch müsse der Markt, vor allem der Mittelstand, für

diese Alternative sensibilisiert werden, meint der Gruppenleiter »Naturstoffkomposite« am Fraunhofer IWM in Halle. Im März 2010 kam der Chemiker mit Promotion in Werkstoffwissenschaften an der Universität Halle vom Institut für Kunststofftechnologie und -recycling nahe Köthen. Das Team des 30-Jährigen entwickelt heute zum Beispiel neue Materialien aus Schäumen. Sogenannte Biophenolschäume mit hoher Brandfestigkeit sind besonders für die Bauindustrie interessant.

andre.rapphel@iwmh.fraunhofer.de

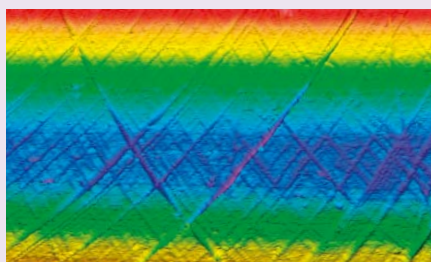


Dem Wasserdampf und – im Fall von Solarkraftwerken – sogar geschmolzenen Salzen müssen Boiler und Wärmetauscher in Kraftwerken stand-

halten. Der Korrosion auf die Spur kommt Dr. Elsa Piedra, seit Juni 2011 Mitarbeiterin am Fraunhofer IWM in Freiburg. Die 33-Jährige war nach ihrem Maschinenbaustudium an der Universität von Oviedo in Nordspanien unter anderem bei der Bundesanstalt für Materialforschung in Berlin und am National Physical Laboratory in London tätig. Dort hat sie auch Beschichtungen entwickelt, die sowohl hohen Temperaturen als auch korrosiven Medien standhalten. Derzeit entwickelt sie Prüfeinrichtungen und Bewertungsverfahren mit, die dem Fraunhofer IWM dazu dienen, Werkstoffe speziell für Solarkraftwerke zu qualifizieren, wo solche kombinierten thermomechanisch-korrosiven Belastungen auftreten.

elsa.piedra@iwm.fraunhofer.de

Mikrotribologie: Damit der Motor sich nicht selber bremst



Die Mikrotribologie mit Fokus auf das Geschehen im Mikrometerbereich verspricht weitere Effizienzsteigerungen in der Motortechnik. Die Reibungsverluste von Verbrennungsmotoren liegen bei rund 30 Prozent. Volkswagen teilte Ende 2009 mit, den Verlust aktueller Motoren auf 12 bis 20 Prozent gesenkt zu haben. In den Fokus der Entwickler rückt nun der gesamte Antriebsstrang und dort beispielsweise der Ersatz von Kegelrolllagern durch Schrägkugellager. Den Einspareffekt beim Kraftstoff schätzt Zulieferer Schaeffler allein hier auf 1,5 Prozent.

Doch davor steht ein Abschied: Die hochsensitive Sensorik des IWM-Motorprüfstands in der Außenstelle Pfinztal ermöglicht Echtzeitverschleißmessungen, »und unsere Ergebnisse bringen althergebrachte Modelle ins Wanken«, berichtet Prof. Dr. Matthias Scherge. So ergab die Charakterisierung von Aluminium-Silizium-Legierungen des Motorblocks, dass neuartige Legierungen mit feinkristalliner Struktur haltbarer sind und reibungsärmer wirken als bisherige grobkörnige Strukturen, die man benutzt hatte im Glauben, dass der Kolbenring allein auf den Siliziumkristallen gleitet. Honriefen, die das Öl zum oberen Totpunkt kanalisieren sollen, sind unnötig, genauso wie die aufwändige mechanische Freilegung der Siliziumkristalle.

Wichtiger sei es, so betont Scherge, dass die Oberflächen tribochemisch vorkonditioniert werden. Das macht unabhängiger vom Einfahren des Motors. Im Fraunhofer-Projekt TriboMan arbeiten die Forscher auch an diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtungen für Motor- und Antriebsteile.

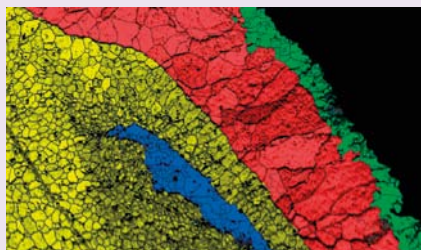
Scherge sieht im »Feintuning der Reibwerte« noch große Potenziale – »vom Ventiltrieb bis zur Gussoptimierung«. Das Fraunhofer IWM vermittele, etwa zwischen Schmierstoffherstellern und Zulieferern der Antriebstechnik. Erst im Komplettsystem lasse sich die Reibung optimal minimieren. matthias.scherge@iwm.fraunhofer.de

Leistungselektronik: Mehr Leistung – mehr Energieeffizienz

Sie verbirgt sich fast überall: Elektronik steuert Automotoren und Industrieanlagen, wandelt Energie aus Solar- und Windkraftanlagen um und verteilt Elektrizität intelligent im Netz. »Überall gibt es Verluste, das Potenzial für mehr Energieeffizienz ist riesengroß«, betont Prof. Dr. Matthias Petzold, Leiter des Geschäftsfelds Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik am Fraunhofer IWM in Halle. Die Elektronik muss leistungsfähiger werden und zum Teil auch Temperaturen bis 300 Grad Celsius aushalten.

Müsste die Welt ohne Elektronik auskommen, läge der Energieverbrauch in den USA heute bereits um 20 Prozent höher, hat das American Council for Energy Efficient Economy ermittelt. Doch Hochtemperatur Elektronik könnte die Effizienz weiter steigern. Derzeit ist ein Einsatz bis 150 Grad Celsius möglich.

Gemeinsam mit Partnern arbeitet das Fraunhofer IWM in Halle auf eine Temperaturbeständigkeit bis 300 Grad hin. Dies bedingt den Einsatz neuer Materialien, besonders in der Verbindungstechnik mikroelektronischer Elemente. Für die Chips werden dafür spezielle »Silicon on insulator«-Technologien eingesetzt. Die Chipkontaktierung erfolgt durch spezielle Sinterstoffe oder mittels intermetallischer Phasen anstelle von Weichloten. »Die Aufbau- und Verbindungstechnik ist der größere Hemmschuh für Hochtemperatur«, betont Matthias Petzold.



Die Expertise des Fraunhofer IWM in Halle ist es, neue Fehlermechanismen sofort zu erkennen, diese zu analysieren, zu verstehen und künftig zu verhindern. »Wir unterstützen die Absicherung von Lebensdauer und Zuverlässigkeit, ohne die neue Produkte nicht akzeptabel sind«, erläutert Petzold. Dafür steigt das IWM 2012 gemeinsam mit weiteren Fraunhofer-Instituten in Duisburg, Berlin, Chemnitz, Dresden und Hermsdorf in das mit Eigenmitteln der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützte Entwicklungsprojekt HOT 300 ein. matthias.petzold@iwmh.fraunhofer.de

Neue Möglichkeiten für die Mikrostruktur- und Fehleranalytik – Einweihung des Centers für angewandte Mikrostruktur-Diagnostik CAM am Fraunhofer IWM Halle

Das Fraunhofer CAM bietet eine noch leistungsfähigere Fehlerdiagnostikkette von der Defektlokalisierung über die Präparation bis zur Materialanalytik. Zudem wird eines der modernsten Transmissionselektronenmikroskope (FEI Titan 3 G2) innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft in Betrieb genommen. Am 8. und 9. März 2012 findet aus diesem Anlass ein internationaler Workshop zur Fehlerdiagnostik in Halle statt.

www.iwm.fraunhofer.de/CAM-Workshop

Workshop: Maßgeschneiderte tribologische Schichtsysteme vom 27. bis 28. Juni 2012 im Fraunhofer IWM Freiburg

Fokus: Realisierung geforderter Oberflächenfunktionalitäten durch Schichtaufbau und Prozesstechnologie. Konzepte zur Reibungsminderung.

Infos: victoria.reineck@iwm.fraunhofer.de

9. HKS HochschulKupferSymposium vom 6. bis 7. November 2012 im Fraunhofer IWM Freiburg in Kooperation mit dem Deutschen Kupferinstitut

Das HKS ist das Forum für technisch-wissenschaftliche Themen rund um Kupfer, seine Legierungen sowie innovative Produkte und Anwendungen. Mehr Infos:

www.kupferinstitut.de/symposium oder dirk.helm@iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM

Das Fraunhofer IWM ist Ansprechpartner für die Industrie und öffentliche Auftraggeber im Bereich der Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität von Bauteilen und Systemen. Die Leistungen des Fraunhofer IWM zielen darauf ab, Schwachstellen und Fehler in Werkstoffen und Bauteilen zu identifizieren, deren Ursachen aufzuklären und darauf aufbauend Lösungen für die Einsatzsicherung von belasteten Bauteilen, für die Materialentwicklung und für Fertigungsprozesse anzubieten.

Impressum

Text: Doris Banzhaf, Grafik: Erika Hellstab
Fotos: Alexandra Jung, Emmendingen, Jürgen Jeibmann, Photographik, Leipzig, iStockphoto, Fraunhofer IWM
Verantwortlich: Thomas Götz
thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de
©Fraunhofer IWM, www.iwm.fraunhofer.de

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