

Leichtbau-Qualifizierung

Türöffner ist das Materialwissen

Sicherheit hat Priorität

Keramik: Effizienz im Ofen

Ersatz für teure oder knappe Grundstoffe

Neues Material für Erdöl-technologien

IWM-Highlights in den Medien

2 • 2012



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Effizienz lohne sich, warb vor einigen Monaten der Bill Clinton für eine Initiative des US-Präsidenten Barack Obama.

»It (Efficiency) is the nearest thing we've got to a free lunch in a tough economy« so Bill Clinton letztes Jahr bei der Ankündigung der Agenda für Energieeffizienz.

Auch die produzierende Industrie in Deutschland hat eine große Chance ihre führende Wettbewerbsposition über Effizienzsteigerungen zu festigen. Mit dem Schwerpunktthema Materialeffizienz zeigen wir Ihnen in diesem IWM Report Beispiele dafür, wie unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Unternehmen dabei unterstützen, materialeffizienter zu produzieren oder ihre Produkte materialeffizient zu entwickeln. Neben der höheren Wettbewerbsfähigkeit macht das Potenzial zur Kostensenkung die Materialeffizienz so attraktiv und wertvoll.

Wir freuen uns auf Ihre Fragen.

Ich wünsche eine interessante Lektüre

Ihr Ralf Wehrspohn
Sprecher der Institutsleitung

Materialeffizienz: Mehr unternehmerischer Spielraum übers Material

Sie haben mit Abstand die Nase vorn: Materialkosten machen im produzierenden Gewerbe Deutschlands knapp 43 Prozent der Gesamtkosten aus, die Personalausgaben folgen abgeschlagen mit einem Anteil von 20,5 Prozent. Mit der Gründung der deutschen Materialeffizienzagentur DEMEA, mit Förderprogrammen und Initiativen für mehr Materialeffizienz und zertifizierter Beratung (siehe Seite 3) unterstreicht die Bundesregierung deren Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft.

Die Materialeffizienz berge »ein immenses und vielfältiges Einsparpotenzial«, betont der Institutsleiter des Fraunhofer IWM, Prof. Dr. Ralf Wehrspohn. Weniger Material oder auch Hilfsstoffe einsetzen, Ausschuss verringern, Reststoffe in den Prozess integrieren anstatt sie wegzuworfen, leistungsfähigere Werkstoffkombinationen finden und die Produktion effizienter gestalten – überall eröffneten sich Chancen. »Die nutzbringenden Veränderungen sind manchmal klein im Aufwand und groß in der Wirkung, bisweilen sind es aber auch grundsätzliche Neuerungen«, umschreibt Wehrspohn das große Spektrum der Themen, in denen das Fraunhofer IWM seine Kooperationspartner unterstützt.

Beispiele dafür, wie Fertigungsprozesse materialeffizienter werden, finden sich am Fraunhofer IWM viele: Antihalt-Beschichtungen machen die Produktion von Klebetiketten, die über schier endlos lange Bänder laufen und diese mit der Zeit verkleben, effizienter, genauso wie die Herstel-

lung optischer Linsen. Deren Prägung wird durch eine Schicht aus Titanaluminiumnitrid sogar präziser, und das Prägewerkzeug hält fünf bis zehn mal länger. Die Optimierung von Schutzfolien für Solarzellen sorgt sowohl für einen höheren Wirkungsgrad als auch für längere Lebensdauer der Module.

Material und Aufwand einsparen lässt sich auch mit neuen Trenntechniken wie dem laserinduzierten Spannungstrennverfahren. Es ist im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren präziser und erspart die aufwändige Nachbearbeitung der Kanten. Einen Technologiesprung verspricht die Entwicklung eines neuen Spezialofens zur seriellen Herstellung von gebogenem Glas, etwa für Fassadenfenster, in einem einzigen Produktionsschritt (siehe Interview auf Seite 2).

Materialeffizienz kann aber auch Produkte attraktiver machen. Leichtbauteile zum Beispiel sparen Gewicht und Energie, sorgen zudem für Schall- und Wärmedämmung. Hier ist das Fraunhofer IWM an seinen Standorten Freiburg und Halle gleich mehrfach aktiv – bei der Entwicklung von Sicherheitsstandards im Flugzeugbau über grüne Chemie für bisher erdölabhängige Produkte bis hin zur Qualifizierung von Leichtbauteilen generell.

»Wir empfehlen Firmen, sich auch mit Unterstützung von Förderprogrammen, Material- und Prozessexpertise für mehr Effizienz ins Haus zu holen«, lädt Wehrspohn die Industrie ein.

Leichtbau-Qualifizierung – Erst verstehen, dann produzieren



Leichtbau ist verlockend: Weniger Gewicht – im Auto genauso wie in einer maschinenbautechnischen Anlage – verspricht weniger Energieverbrauch oder ermöglicht höhere Zuladung. Integrative Lösungen sind in der Herstellung zudem oft günstiger. Doch halten neue Mischbauweisen auch sicherheitstechnisch den Anforderungen stand? Welche Werkstoffe lassen sich am sinnvollsten verbinden, und wie? Wo liegen die Einsatzgrenzen? Lassen sich Profil, Dicke, Geometrie oder auch die Materialzusammensetzung gewinnbringend anpassen?

Diese Fragen beantwortet das Fraunhofer IWM in Freiburg. »Wir qualifizieren beispielsweise Organobleche, also thermoplastisches, faserverstärktes Material, oder auch Kunststoff-Metall-Hybrid«, erläutert Dr. Michael Luke, Leiter der Gruppe Ermüdungsverhalten, Eigenspannungen. Das gewebeartige Halbzeug werde auch oft kombiniert mit wirrfaserverstärkten Materialien zu einer Struktur verpresst. »Wir untersuchen und definieren das Verformungs- und Versagensverhalten«, erklärt Luke. Sein Team ermittelt beispielsweise die Tragfähigkeit und das Einsatzverhalten von Strukturen unter Belastung, bei verschiedenen Temperaturen oder auch deren Kriechverhalten. Die Wechselwirkung zwischen einzelnen Prozessgrößen und den Werkstoffeigenschaften zu verstehen, kann zudem die Produktqualität positiv beeinflussen.

Auch Leichtmetallbauteile aus Aluminium-, Magnesium und Stahllegierungen und deren Kombinationen werden qualifiziert – sowohl virtuell am Computer als auch in gezielten Belastungsexperimenten. Diese und weitere Erkenntnisse, auch aus dem Fraunhofer-Innovationscluster für hybriden Fahrzeugleichtbau (KITe hYLITE), fließen in Projekte aller Branchen ein.

michael.luke@iwm.fraunhofer.de

Türöffner ist das Materialwissen

Dr. Rainer Kübler, Leiter des Institutsteils Freiburg des Fraunhofer IWM und Leiter der Gruppe Bearbeitungs- und Trennverfahren, erläutert, wie die Werkstoffmechanik zum Schlüssel für Materialeffizienz werden kann.



■ **Material ist im produzierenden Gewerbe ein großer Kostenfaktor. Kommen viele Kunden auf Sie zu, um die Materialeffizienz zu steigern?**

Materialeffizienz ist meist nicht der Antrieb unserer Kunden. Sie wollen zum Beispiel einen neuen Stahl einsetzen, der stabiler ist, wissen aber nicht genau, wie lange dieses Material Temperaturwechsel aushält. Wir charakterisieren das Material über Prinzipexperimente und Belastungsversuche, übertragen dieses Wissen in ein Modell und liefern dann Softwarebausteine, mit denen die Kunden die Lebensdauer der komplexen Bauteile ohne Versuchsaufwand berechnen können. Das ist sehr effizient. Klassische Materialeffizienz ist relevant, wenn das Material teuer ist. Als Silizium extrem rar war, sollten Siliziumwafer für Solarzellen um die Hälfte dünner werden, um Material beim Sägeprozess zu sparen. Unsere Idee war, stattdessen mit dünneren Sägedrähten bei nur leicht reduzierter Waferdicke zu sägen und so den Schneidverlust zu halbieren. So muss nicht gleich der ganze Nachfolgeprozess zur Solarzelle teuer umgestellt werden. Für solch ein Ziel muss ich Materialien und Schneidprozess verstehen. Der Draht wird zusammen mit einer Emulsion mit kleinen harten scharfen Partikeln durch den Spalt gezogen. Für eine verlässliche Prozessführung muss ich also wissen und beschreiben, wie Draht, Emulsion und Silizium interagieren. Mit solchen Methoden helfen wir der Materialeffizienz auf die Sprünge.

■ **Ist mehr Effizienz auch bei günstigen Materialien möglich?**

Effizienz entsteht auch durch neue Technologien, für die wir Anwender mit verschiedenen Kompetenzen vernetzen. Aktuelles Beispiel dafür ist gebogenes Glas. Das Ausgangsmaterial ist günstig, doch gebogen

hat Glas als hochwertiges Produkt ein enormes Marktpotenzial. Es gibt bislang jedoch keine fundierte technologische Basis zur Herstellung. Noch heute legt der Glasbieger ein Stück Glas in den Ofen, das sich bei steigenden Temperaturen langsam in eine Form senkt, und holt es Stunden später erkaltet heraus – wie vor 100 Jahren. Das kostet Energie, Zeit und zudem noch Material, wenn die Biegung nicht stimmt. Wir entwickeln derzeit mit unserem Industriepartner Öfen mit flexibler Biegeform und modularem Prozessablauf. Anwender sind die Glasbieger, die Technologie stellt der Ofenbauer, dem wiederum fehlt die Glaskompetenz und das IWM steht in der Mitte.

■ **Wie finden Sie die Industriepartner?**

In diesem Fall sind wir aktiv auf die Suche gegangen. Deutschland hat Weltmarktführer für Spezialöfen. Sie haben jetzt eine neue Marktchance. Im Juli haben wir der Glasindustrie erste Ergebnisse präsentiert. Sie war begeistert. Der neue Biegeprozess besitzt das Potenzial, beispielsweise gebogene Scheiben für Isolierglas herzustellen. Und zwar nicht nur, wie bisher, in Paaren, die nicht mehr verwendbar sind, wenn ein Zwilling kaputt geht, sondern in Serie. Über eine Prozesserweiterung steht der Weg hin zum Einscheibensicherheitsglas offen. Für einen hohen Automatisierungsgrad integrieren wir Firmen aus der Prozessautomatisierung. Noch sind die Maschinen nicht marktreif, aber bald geht es beim Glasbiegen raus aus der Manufaktur rein in die effiziente Produktion.

■ **Wie finden Sie solche lohnenden Materialien?**

Meist ist gar nicht das Material an sich der Schlüssel zur Effizienz. Wir forschen vielmehr effizient: Wir kombinieren die numerischen Simulationsmodelle über viele Größenskalen mit grundlegenden Experimenten – bei allen Materialien. Die Belastungen im Experiment – ziehen, drücken, reiben, kalt und warm – koppeln wir mit dem Verständnis, wie sich das Material verhält, wie es ermüdet und verschleißt, wie Risse entstehen, und machen das berechenbar. So können wir den Kunden sagen, wie sein Prozess oder sein Bauteil oder beides aussehen muss, um das Potenzial auszureizen. Das ist bei jedem Material möglich und unser Beitrag, damit die Industrie bei ihrem Streben nach mehr Material- und Kosteneffizienz weiterkommt.

Leichtbau für Windräder und Flugzeuge: Sicherheit hat Priorität

Sandwichbauteile mit ihrem extrem leichten Schaumkern sind ideal für den Leichtbau. Aufgrund ihrer gleichzeitig wärme- und schallisolierenden Eigenschaften werden sie zunehmend auch in neuen Branchen, etwa in der Logistik, eingesetzt.

Im Flugzeugbau oder bei Windkraftanlagen, deren Rotorblätter mittlerweile bis zu 90 Meter lang sind, spielt neben dem geringen Gewicht die Schadenstoleranz der Bauteile eine entscheidende Rolle. »Es muss klar sein, wie sich das Material, etwa bei Kollisionen mit einem Vogelschwarm, verhält. Eine hohe Lebensdauer und die Sicherheit müssen gewährleistet sein«, betont Dr. Ralf Schäuble, Leiter des Bereichs Polymerbasierte Hochleistungsverbundwerkstoffe am Fraunhofer IWM in Halle.

Seit mehreren Jahren entwickelt sein Team Methoden, um die Belastbarkeit der Sandwichbauteile zu bewerten. »In einem von Airbus geführten Konsortium ermitteln wir, wie Bauteile Beschädigungen ertragen, die im normalen Flugbetrieb unvermeidbar auftreten können, ohne sofort zu versagen«, erläutert er. Der Betreiber muss wissen, wie sich eine zunächst unentdeckte Beschädigung auswirkt und wie lange das

Bauteil weiter hält, bevor es repariert oder ausgetauscht werden muss. Dies fließt ein, um die Inspektionsintervalle festzulegen.

Airbus will Sandwichbauteile nicht nur im Flugzeuginnenraum nutzen, sondern auch für das Seitenleitwerk – eine so genannte Primärstruktur der allerhöchsten Sicherheitsstufe. »Besonders gefährlich sind leichte Schlagschäden, bei denen es im ungünstigsten Fall zur begrenzten Ablösung der steifen und festen Deckschicht vom Schaumkern kommt, ohne dass man dies von außen erkennt. Es muss vorher sichergestellt sein, dass sich ein solcher Schaden nicht weiter gefährlich ausdehnt und die Sandwichstruktur instabil wird«, betont Schäuble.

Sowohl mit Tests als auch über numerische Simulation ermitteln die IWM-Mitarbeiter mit höchster Genauigkeit die Belastungsgrenzen der Bauteile. Ein Kollege ist für ein Jahr zur NASA ausgeliehen, um dort an der Entwicklung der entsprechenden Normen und Richtlinien für die amerikanische Luftaufsichtsbehörde mitzuarbeiten. Vom Know-how, so Schäuble, profitieren auch Projekte aus vielen anderen Branchen.

ralf.schaeuble@iwmm.fraunhofer.de

Keramik: Effizienz im Ofen

Numerische Simulation steigert die Effizienz bei der Keramikherstellung – nun auch im Sinterofen. Keramische Teile werden als so genannte Grünkörper vor dem Sintern mit organischen Bindern zusammengehalten, meist sind dies Wachse. Erwärmt sich das Bauteil im Ofen, reagiert zuerst der Binder – schmilzt auf und zersetzt sich dann zu Gas. Durch Porenkanäle sucht sich das Gas seinen Weg. Findet es keinen, steigt der Druck, die Teile können platzen oder zerbröseln.

Bei der Herstellung ist dies ein spezieller Prozessschritt, das sogenannte »Entbindern«, vor dem eigentlichen Sintern. Die Keramikproduzenten verlassen sich dabei auf Erfahrungswerte. Um Ausschuss zu vermeiden, sind die Sicherheitsmargen hoch. Doch jetzt hat das Fraunhofer IWM in Freiburg in speziellen Experimenten ermittelt und mit numerischen Modellen Vorhersagen dafür entwickelt, wie sich das

organische Material zersetzt und ausströmt und wie sich der gesamte Prozess ohne Unterbrechung so steuern lässt, dass Bauteilreaktion und Temperatur genau aufeinander abgestimmt sind.

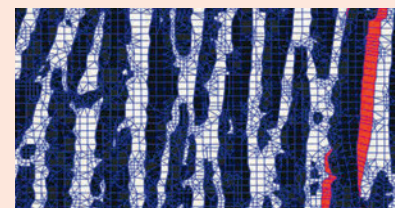
»Das spart viel Zeit und Energie bei der Herstellung,« erklärt Dr. Torsten Kraft. Der Leiter des IWM-Bereichs Pulvertechnologie arbeitet dazu auch in der Initiative »ENITEC« mit, wo sieben Partner gemeinsam neue Energieeinsparpotenziale in der Keramikherstellung erschließen. Eingebunden sind hier auch zwei Spezialofenbauer. Mit ihnen gemeinsam entwickeln die Forscher neue Konzepte für Öfen, um zukünftig Keramikgrünkörper bei möglichst niedrigem Energieeinsatz in einem einzigen Verfahrensschritt schädigungsfrei entbindern und sintern zu können – auf Basis der numerischen Vorhersagen des Fraunhofer IWM.

torsten.kraft@iwmm.fraunhofer.de



Seit Mai 2012 leitet Dr. Jörg Hohe die Gruppe Verbundwerkstoffe am Fraunhofer IWM in Freiburg. Sein Team charakterisiert vorrangig Materialien mit Polymermatrix – oft für Großserien im Automobilbau und bewertet deren Einsatzverhalten. Daneben ist das Versagensverhalten von Verbundwerkstoffen mit keramischen Bestandteilen und von Schäumen ein Schwerpunkt. Hier bringt der heute 46-Jährige seine seit 2002 in der IWM-Gruppe Anlagensicherheit und Bruchmechanik gesammelte Kompetenz ein. Hohe hat an der TU Darmstadt Mechanik studiert, war beim TÜV Nord in der Energietechnik tätig, bevor er sich an der Universität Siegen zu Verbundwerkstoffen habilitierte, wo er heute weiter als Privatdozent im Maschinenbau tätig ist.

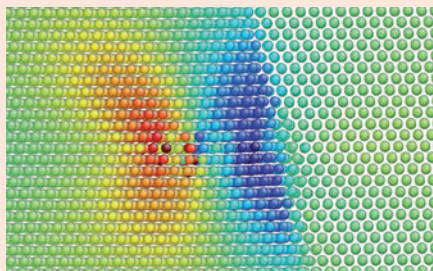
joerg.hohe@iwmm.fraunhofer.de



Kunden steht Andreas Krombholz »auf Gutschein« zur Verfügung: Der Fachmann für nachwachsende Rohstoffe und Polymeranwendungen am Fraunhofer IWM in Halle ist einer von 232 zertifizierten Materialeffizienzberatern bundesweit, die das Bundeswirtschaftsministerium in der Go-inno-Initiative bündelt und deren Arbeit es mit bis zu 80.000 Euro unterstützt. Gefördert werden Firmen, die effizienter werden wollen, indem sie zum Beispiel Reststoffe wiederverwerten oder Verschnitt verringern. Der 41-jährige Forscher kam schon während des Physikstudiums an der Uni Halle ans IWM und beschäftigt sich heute vorrangig mit Naturstoffkompositen. Materialeffizienzberatung bietet er über alle Branchen und Werkstoffe hinweg – gemeinsam mit Kollegen des gesamten Fraunhofer IWM.

andreas.krombholz@iwmm.fraunhofer.de

Ersatz für teure oder knappe Grundstoffe



Manche chemischen Elemente sind schwer zu bekommen. Andererseits bedingen diese oft die Leistungsfähigkeit der Produkte, in denen sie verarbeitet sind.

Drei Beispiele: Um Hartmagnete herzustellen, benötigt man bestimmte Seltene Erden. Diese werden fast nur noch in China gefördert und teilweise künstlich verknapp.

Flache TFT-Bildschirme beeindrucken nur dann mit hoher Bildqualität, wenn durchsichtige Kontaktelektroden auf der Bildschirmoberfläche den Stromfluss sichern. Das derzeit beste Material dafür ist Indium-Zinn-Oxid, das auch für Solarzellen gefragt ist. Es enthält das recht seltene und somit teure Indium.

Oder Blei: Es ist sowohl in vielen metallischen Lötlegierungen als auch in oxidischen Ferroelektrika für Sensoren und Aktoren enthalten, aber es ist giftig und in der Europäischen Union bald verboten. Was tun?

»Die Stoffe lassen sich ersetzen, wir können bereits heute funktionsfähige Lösungen vorschlagen«, betont Prof. Dr. Christian Elsaesser, Leiter der Gruppe Physikalische Werkstoffmodellierung am Fraunhofer IWM in Freiburg. Sein zehnköpfiges Team sucht auf der Ebene der atomaren Zusammensetzung nach Alternativen am Rechner – mit kreativen Ideen. »Unsere Inspiration kommt aus der Vielfalt an Kristallstrukturen in der Natur, die auf viele physikalische Eigenschaften noch nicht abgeklopft sind.« Welche Strukturen können entstehen, wenn für einen Hartmagneten verschiedene Grundstoffe metallurgisch verschmolzen werden, und wie gut sind deren Eigenschaften? Das berechnet das Team, testet so virtuell und schnell viele verschiedene Kombinationen und macht dann Vorschläge für vielversprechende Ersatzmaterialien. Im Wechselspiel mit Partnern, die diese neuen Werkstoffe herstellen und experimentell auf ihre Eigenschaften hin prüfen, wird die Materialzusammensetzung funktionsoptimiert – bis zum patent- und marktfähigen Produkt.

christian.elsaesser@iwm.fraunhofer.de

Buchenholz: Neues Material für Erdöltechnologien

Der Erdölvorrat der Erde neigt sich dem Ende. Doch viele, gerade innovative Materialien enthalten nach wie vor Erdöl, auch wenn diese Substanzen sich aufgrund ihrer Umweltbelastung nicht empfehlen. Sie zu ersetzen, schließe also zwei Fliegen mit einer Klappe: Unabhängigkeit vom Erdöl bei gleicher Materialqualität und Vermeidung von Schadstoffen.

Das Fraunhofer IWM in Halle koordiniert dazu eins der sechs Themengebiete (Polymere und Biomassematerialien) und leitet zwei Projekte im Spitzencluster BioÖkonomie (www.bioeconomy.de) mit einem Gesamtvolumen von 80 Millionen Euro. Eingebunden sind die deutsche Kunststoffindustrie und weitere Forschungsinstitute. Im einen Projekt entsteht »grünes« Phenol für Schaumstoffe, im anderen wird ein so genanntes BioWPC (Wood Plastic Composite) entwickelt, das als Fassadenverkleidung genauso eingesetzt werden kann wie als Terrassendiele oder in der Inneneinrichtung von Fahrzeugen und Gebäuden.



Buchenholz ist die Basis für die neuen Verfahren, die sich technologisch an die alten anlehnen, also eingeführte Technologien aus dem Erdölzeitalter weiterhin nutzbar machen sollen. Die chemische Konversion von Buchenholz steht, so Dr. André Rapphel, Leiter des IWM-Bereichs Naturstoffkomposite, beide Male im Fokus der Forscher. So wird das Phenol für den Schaumstoffkern neuer Sandwichbauteile aus dem Lignin im Buchenholz gewonnen, die Decklagen bestehen aus Buchenholz und Harz. Lignocellulose ist im zweiten Projekt die Basis einer neuen polymeren Matrix für thermoplastische Spritzgussmaterialien. Zur Verstärkung werden hier zudem Buchen- anstelle von Nadelholzfasern eingesetzt, da heutige Mischwälder künftig weniger Nadel- und mehr Buchenholz liefern. Erste Anwendungsversuche mit der Baubranche laufen.

andre.rapphel@iwm.fraunhofer.de

Highlights des Fraunhofer IWM in den Medien

Schneller Zahnpasta-Check

Es gibt unzählige Sorten von Zahnpasta. Doch welche Zahnpasta reinigt gut? Welche schont den Zahnschmelz? Aufschluss hierüber gibt ein neues Bewertungsverfahren.

andreas.kiesow@iwm.fraunhofer.de

Leichtbauteile rissfest fertigen

Kaltrisse in hochfesten Stählen stellen den Fahrzeug- und Maschinenbau vor große Herausforderungen. Ein neues Verfahren ermittelt schon im Entwurfsstadium, ob kritische Bedingungen für solche Schäden vermieden werden können.

frank.schweizer@iwm.fraunhofer.de

Infrarotlinsen kostengünstig herstellen

Wärmekameras warnen Autofahrer bei schlechter Sicht vor Menschen oder Tieren auf der Straße. Durch ein neu entwickeltes Herstellungsverfahren werden die Infrarotlinsen für die Kameras bis zu 70 Prozent günstiger.

helen.mueller@iwm.fraunhofer.de

Auf smarten Oberflächen bleibt kein Tropfen

Sei es bei Fensterscheiben, Korrosionsbeschichtungen oder Mikrofluidik – Oberflächen, die sich selbst von Flüssigkeiten befreien, würden vieles vereinfachen. Ein neues Simulationsprogramm errechnet die erforderliche Oberflächenbeschaffenheit.

adham.hashibon@iwm.fraunhofer.de

Keramiken unter Kugelbeschuss

Dünne Bauteile aus Keramik herzustellen, ist aufwändig und teuer. Denn viele verziehen sich während der Bearbeitung und müssen aussortiert werden. Mit einem speziellen Kugelstrahlverfahren können verzogene Bauteile wieder in Form gebracht werden.

wulf.pfeiffer@iwm.fraunhofer.de

Schnelles PID-Testverfahren für Solarmodule

Das Fraunhofer CSP hat ein Testverfahren für die potenzialinduzierte Degradation (PID) entwickelt. So können Leistungsverluste bei Silizium-Modulen schneller bestimmt werden.

matthias.ebert@csp.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM

Als Forschungspartner der Industrie und öffentlicher Auftraggeber entwickelt das Fraunhofer IWM Lösungen, mit denen der Energieverbrauch und der Materialeinsatz bei der Herstellung sowie im Einsatz von Werkstoffen und Bauteilen reduziert werden können.

Impressum

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

Fraunhofer IWM Freiburg

Wöhlerstraße 11, 79108 Freiburg

Fraunhofer IWM Halle

Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle