



Der Kontakt ist eine Blackbox
Mikrostrukturanalytik

Seite 2

Spannungsarm Fügen bei
Raumtemperatur

Seite 3

Solarzellen und LED-Displays
Naturfaserstoffe

Seite 4

1 • 2010



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

auch heute gibt es noch wissenschaftliches Neuland. Eines steht im Fokus dieses IWM Reports: die Tribologie. Reibungslehre fußt nach wie vor stark auf Erfahrungswerten, nicht auf fundiertem Wissen darüber, was zwischen zwei Flächen und, falls vorhanden, dem Schmiermittel genau geschieht. Zu komplex war bisher die Tatsache, dass so viele Faktoren ineinandergreifen. Für die Industrie heißt das: Fundiertes Tribodesign bietet ein großes Potenzial. Das wollen wir erschließen, und wir tun dies mit Erfolg. Unsere Aktivitäten in der Mikrotribologie münden nun in die Gründung eines neuen Zentrums – gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT. Mehr dazu, außerdem zu Mikrostrukturanalytik, reaktivem Bonden in der Mikroelektronik, Naturfaserverbunden und vielem mehr lesen Sie hier.

Eine spannende Lektüre wünscht

Prof. Dr. Peter Gumbsch
Geschäftsführender Institutsleiter

Reibung und Verschleiß: Komplexes Mischmasch birgt Riesenpotenzial

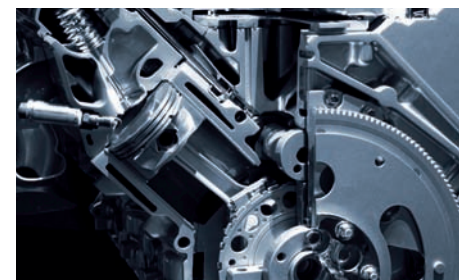
Messer werden stumpf, wie genau? Radlager gehen kaputt, aber wann? Reibung und Verschleiß spielen überall hinein, beeinträchtigen Motoren, Walzen, Pumpen, Produktionsanlagen und verursachen Kosten, betriebs- wie volkswirtschaftlich. Die Industrie setzt auf Erfahrungswerte, doch die sind bei hoher Leistungsdichte zunehmend ungenügend. Reibung berechenbar machen lautet das Ziel des Fraunhofer IWM im Geschäftsfeld Tribologie. Neuer Spross ist das gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT gegründete Mikrotribologie Centrum μ TC. Finanziert von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Land Baden-Württemberg wird es im Mai 2010 in Karlsruhe eröffnet (mehr dazu auf den Seiten 2 und 4).

Dafür, dass die Tribologie wissenschaftlich so schwer zu fassen ist, macht Prof. Michael Moseler, Leiter des Bereichs Multiskalenmodellierung und Tribosimulation, ein »wildes Mischmasch von Prozessen« verantwortlich: Ein enges Zusammenspiel von Physik, Chemie, Ingenieur- und Materialwissenschaften sei notwendig, um der Tribologie näher zu kommen. Komplex sei, was zwischen den »Tribopartnern« geschieht, die sich gegeneinander bewegen. Hinzu kommt, dass es fast unmöglich ist, in den tribologischen Prozess hineinzuschauen, ohne ihn zu beeinflussen oder zu verändern.

Doch die Analysemethoden werden immer besser, Echtzeitmessungen möglich. Heute lassen sich zum Beispiel die chemischen

Bestandteile an der Oberfläche von Reibflächen erschließen. Das wiederum lässt Rückschlüsse auf das Bindungsverhalten zu. »Es geht darum, Reibung zu verstehen«, betont Prof. Matthias Scherge, Leiter des Bereichs Mikrotribologie und Sprecher des μ TC in Karlsruhe (im Interview auf Seite 2). »Wenn wir mehr über Topographie und Chemie der Oberflächen wissen, können wir rechnen«, ergänzt Prof. Michael Moseler.

Das Fraunhofer IWM kommt Reibung und Verschleiß näher – zum Beispiel mit Modellsystemen im Labor oder auf dem Prüfstand. »Indem wir die Anwendungsbedingungen möglichst genau nachbilden, lassen sich Schlüsse ziehen«, erläutert Dr. Andreas Kailer, Leiter des Bereichs Verschleißschutz, Technische Keramik. Sein Team ermittelt so aus mehreren Systemvarianten die am besten geeignete. Es erprobt und ersetzt Werkstoffe und Schmierstoffe mit Alternativmaterialien, die zunächst



teurer sind, aber die Produktionsausfälle um ein Vielfaches senken und die Lebensdauer von Produkten erhöhen. Die Zukunft, da sind sich alle einig, liegt in der Kombination von Prüfstand, Mikroskopie und Simulationsmodellen von der atomaren bis zur makroskopischen Ebene.

Mikrostrukturanalytik

Noch tiefer reinschauen

In Krimis sind sie heutzutage unverzichtbar: die Forensiker, die Spuren analysieren und aus kleinen Details auf den Tathergang schließen. Das Fraunhofer IWM ist im Industrieauftrag den Ursachen von Schäden und, andersherum, den Stellschrauben für die Optimierung von Materialien und Bauteilen auf der Spur – von der Mikroelektronik bis zum Kraftwerk.

Wer sein Produkt leistungsfähiger machen will, wer neue Materialeigenschaften entwickeln oder Materialien kombinieren will, wer Fehlern auf die Spur kommen will, der braucht Detailwissen über die Werkstoffe, die er bebenutzt oder verarbeitet. »Mikrostrukturanalytik beginnt mit der Frage, welche Werkstoffparameter für eine Anwendung wichtig sind. Nach der Untersuchung ist die Bewertung der Ergebnisse das Entscheidende«, erläutert Lutz Reissig vom Institutsteil Freiburg das Vorgehen. »Eine große Herausforderung ist die Fehlerdiagnostik an komplexen Mikrobauteilen«, betont sein Kollege Frank Altmann aus Halle. Dort ist die Analyse mikrostruktureller Materialeigenschaften und deren Verknüpfung mit Funktionsparametern und Bauteilverhalten seit vielen Jahren ein zentrales Thema. Um Anwendern neue Informationen zu erschließen, arbeitet das Fraunhofer IWM auch eng mit Geräteherstellern zusammen.

Denn tief hineinschauen in die Mikrostruktur kann nur, wer die richtige Brille aufsetzt. Am Fraunhofer IWM stehen dafür akustische und lichtoptische Mikroskopie, fokussierende Ionenstrahltechnik, vielfältige Spezialpräparationsverfahren, Sekundärionenmassenspektroskopie, Röntgen-Diffraktometrie bis hin zur hochauflösenden Elektronenmikroskopie zur Verfügung. Das IWM prüft mechanische, thermophysikalische, chemische und elektronische Eigenschaften und gewinnt so essentielle Kennwerte, auch als Basis für die Werkstoff- und Bauteilsimulation. 2012 soll am IWM in Halle ein neues Diagnostikzentrum eröffnen, das das Analysespektrum in der mikroskopischen und chemischen Analytik noch erweitern wird.

frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de
lutz.reissig@iwm.fraunhofer.de

Der Kontakt ist eine Blackbox

Weniger Reibung heißt Ressourcen sparen und Verschleiß verringern. Doch die Tribologie ist komplex und steht wissenschaftlich oft noch am Anfang. Dass sich ihre Geheimnisse trotzdem lüften lassen, erläutert Professor Matthias Scherge.



■ **Herr Scherge, im Mai 2010 eröffnet das »MikroTribologie Centrum µTC« in Karlsruhe, dessen Leiter Sie sein werden. Wozu soll das Zentrum dienen?**

Das Zentrum bietet der Industrie eine breite Expertise rund um das Thema Reibung und Verschleiß, die in Europa ihresgleichen sucht. Tribologie ist ein komplexes Wechselspiel von Chemie, Werkstoff und Mechanik – alles greift ineinander. Belastung von außen, Eigenspannung, chemische Reaktion im Schmierstoff oder an der Oberfläche. Das Zusammenspiel ist noch nicht fassbar und verstanden. Das µTC vereint jetzt Materialwissenschaftler, Chemiker, Physiker und Maschinenbauingenieure und eine europaweit einmalige Ausrüstung. Durch die Kooperation von Fraunhofer IWM und dem Karlsruher Institut für Technologie KIT können wir auf insgesamt 70 Experten zurückgreifen.

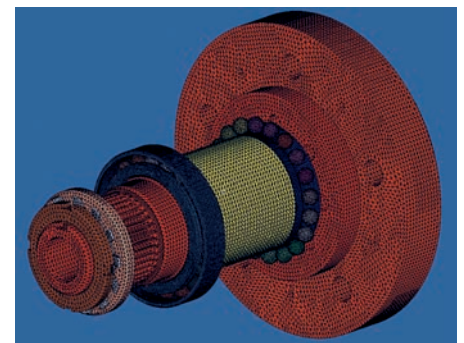
■ **Wie groß ist das Interesse der Industrie?** Die Nachfrage ist groß und sehr breit. Reibung und Verschleiß spielen über-



all eine Rolle – von der Zahnpasta über Präge- und Formwerkzeuge bis zum Motor. Die Automobilindustrie investiert aufgrund

ihrer hohen Stückzahlen sehr stark im Motorbereich. Der Maschinenbau – Medizingerätehersteller, Textil- und Lebensmittelindustrie – sucht Kunststofflösungen. Dort würde man am liebsten mit Wasser schmieren. Die Schmierstoffhersteller sind interessiert. Beschichtungen sind gefragt, auch für den Sport. Bei den Olympischen Spielen in Vancouver waren 40 Skier von Fischer im Einsatz, für die wir die Beläge mitentwickelt hatten. Die Goldmedaillengewinnerin im Biathlon, Magdalena Neuner, war damit unterwegs, und auch der norwegische Skilangläufer Petter Northug.

■ **An welchen Themen arbeiten Sie vorrangig?** Eindeutiger Schwerpunkt der Mikrotribologie am Fraunhofer IWM sind Verbrennungsmotoren: Reibungsminimierung, Verschleißmessung, Schmierstoffentwicklung angefangen von PKW-Motoren bis zum Schiffsdiesel. Weniger Reibung heißt eben weniger Treibstoff, weniger Öl,



weniger CO₂-Ausstoß. Die Frage ist stets: Wo sind die tribologischen Hebel? Das beginnt beim Einlauf, dem Einfahren des Motors, und geht über die Schmierstoffentwicklung bis hin zum wichtigen Hebel der Endbearbeitung der Oberflächen der Motorteile. Im ganzheitlich optimierten Motor verringert sich die Reibleistung um 10 bis 15 Prozent – basierend auf den Vorgaben der Konstrukteure. Mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, wo das µTC derzeit noch seinen Sitz hat, wurde außerdem eine Fraunhofer-Projektgruppe »Neue Antriebssysteme« gegründet.

■ **Wie kommen Sie der Reibung auf die Spur?** Es gibt nicht den einen Weg – und es ist stets ein Wechselspiel von Simulation und Experiment. Aber selbst in riesigen Motoren spielt sich das Entscheidende stets >>>

Mikrosystemtechnik: Spannungsarm Fügen bei Raumtemperatur

Die Grundidee entstand vor Jahren, um mit großflächigen Metall-Metall- und Keramik-Metall-Verbindungen Fahrzeuge zu panzern. Zentrale Frage war: Wie lassen sich Metall und Keramik mit ihrem unterschiedlichem Temperaturverhalten spannungsarm miteinander verbinden? Die Antwort des amerikanischen Unternehmens RNT lautete NanoFoil®. Übertragen auf die Mikrosystemtechnik soll das Konzept jetzt in viel kleineren Dimensionen neue Materialien und Materialkombinationen erschließen.

Besonders die Mikroelektronik hat die Funktionsintegration weit vorangetrieben. Doch bis heute ist der Einsatz bestimmter Materialien nicht möglich, weil etablierte Bondverfahren Temperaturen von 400 °C und mehr benötigen. Zu groß wären bei unterschiedlich temperaturempfindlichen Materialien danach die Spannungen in der Fügezone. Bio-Sensoren halten nur Bondtemperaturen deutlich unter 100 °C stand. NanoFoil® bot eine Perspektive: Bei der schnellen exothermen Reaktion von mehr als 1000 Einzelschichten aus Nickel und Aluminium bleibt der Temperatureintrag während des Verbindungsprozesses auf die unmittelbare Fügezone begrenzt.

Die Vorstellung, dies auf die Mikrosystemtechnik zu übertragen, hat einen regelrechten Boom rund um das reaktive Bonden ausgelöst. Am Fraunhofer IWM in Halle arbeitet man bereits seit 2007 an der Frage, wie sich mikrosystemtechnische Bauteile miteinander verbinden lassen, ohne dass sie – wie bei konventionellen Verfahren – komplett erhitzt werden. Dadurch würden sowohl neue Materialkombinationen, etwa das Verbinden von Siliziumchips mit Metall- oder Keramikträgern, als auch der Einsatz temperaturempfindlicher Materialien, gerade in der Biosensorik, ermöglicht.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer ENAS in Chemnitz prüft das IWM für das reaktive Bonden beispielsweise Aluminium- und

Titanschichten in Kombination mit zusätzlichen Lotschichten. »Ein kurzer Energieimpuls genügt, und Aluminium und Titan reagieren miteinander«, berichtet Bianca Böttge, die das Projekt in Halle leitet. Die Ergebnisse zeigen, so Böttge: »Die Reaktion verläuft sehr schnell und schmilzt das Lot auf. Entscheidend ist, dass die zu fügenden Materialien dabei kaum erhitzt werden.«

Forschungspartner ENAS fertigte bereits zwei Demonstratoren – mit Erfolg, wie Prüfungen am IWM bestätigten: Es handelt sich um einen Infrarot(IR)-Emitter, der auf einem Substrat(TO)-Sockel sitzt, und um einen Quarzdehnungsmessstreifen auf einer Stahlmembran. Der IR-Emitter würde bei über 225 °C zerstört. Beim sensitiven Quarzdehnungsmessstreifen und der Stahlmembran besteht beim konventionellen Bonden die Gefahr, dass sie sich später aufgrund thermomechanischer Spannungen voneinander lösen.

Ob sich das reaktive Bonden am Markt durchsetzt, ist auch eine Frage der Festigkeit und Lebensdauer der Fügeverbindung. »In der Sensorik und besonders im Automobilsektor haben Sicherheit und Zuverlässigkeit absolute Priorität«, erläutert Bianca Böttge. Deshalb prüfen sie und ihre Kollegen die reaktiv gebondeten Bauteile sowohl mechanisch als auch in ihrer Mikrostruktur. bianca.boettge@iwmm.fraunhofer.de



Mit einem Physikdiplom der RWTH Aachen wählte Silke Sommer vor 13 Jahren den Weg in die IT-Welt. Seit 2000 vereinbart sie am IWM in Frei-

burg beides: Wissenschaft und IT-Erfahrung. Heute modelliert die 39-Jährige am Rechner, wie sich Fügeverbindungen – geschweißt, stanzgenietet oder geklebt – beim Aufprall verhalten. Ihre Modelle müssen genau und dennoch so abgespeckt sein, dass sie in Crashsimulationen von ganzen Autos einsetzbar sind. Seit März 2010 vertritt Dr.-Ing. Silke Sommer die Interessen aller rund 260 wissenschaftlichen und technischen Beschäftigten des Fraunhofer IWM als gewählte Vertreterin im Wissenschaftlich-Technischen Rat der Fraunhofer-Gesellschaft. Ausgleich findet sie in ihrer Freizeit im Ausdauersport mit Radfahren und Laufen. silke.sommer@iwmm.fraunhofer.de



Neben gelegentlichen sportlichen Aktivitäten sieht Robert Klengel im Familien-



leben einen Gegenpol zur Arbeit. Der 32-Jährige ist am Fraunhofer IWM in Halle im Bereich der elektronischen Aufbau- und Verbindungstechnik als Wissenschaftler tätig und vertritt Silke Sommer im Wissenschaftlich-Technischen Rat der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Zuverlässigkeit von Drahtbondkontakten und wie diese bei Herstellung und Anwendung beeinflusst wird, beschäftigt ihn seit 2004. Damals kam er im Rahmen seines Elektrotechnikstudiums an der TU Dresden zur Diplomarbeit ans IWM nach Halle und blieb. robert.klengel@iwmm.fraunhofer.de

als Wissenschaftler tätig und vertritt Silke Sommer im Wissenschaftlich-Technischen Rat der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Zuverlässigkeit von Drahtbondkontakten und wie diese bei Herstellung und Anwendung beeinflusst wird, beschäftigt ihn seit 2004. Damals kam er im Rahmen seines Elektrotechnikstudiums an der TU Dresden zur Diplomarbeit ans IWM nach Halle und blieb. robert.klengel@iwmm.fraunhofer.de

>> im Mikro- und Nanometerbereich ab. Zwei Flächen sind nie zu 100 Prozent in Kontakt. Meist gibt es kleine Rauheits-Hügelchen, die gegeneinander reiben. Diese können wir unter dem Mikroskop kontinuierlich untersuchen und andererseits rechnerisch beschreiben, was im Mikrokontakt geschieht. Sehr oft nutzen wir Echtzeitmessungen. Im Motor zum Beispiel beträgt der Verschleiß unter 10 Nanometer pro Stunde. Doch warum »sagen« bei der Verschleißbildung mehrere Millionen Ato-

me gleichzeitig: Ich lass' jetzt mal los? Hier forschen wir an elementaren Ereignissen, also auf der atomaren Ebene. Virtuelle Modelle, Mikroskop und Prüfstand: Alle diese Puzzleteile gilt es zusammenzufügen.

■ Wird altbewährtes Tribowissen über den Haufen geworfen? Nun, es gibt heute sogar unter Fachleuten noch viele falsche Vorstellungen, die rein auf Erfahrungswerten aufbauen – etwa über den Zusammenhang von Reibung und Ver-

schleiß. Reibung kann hoch, der Verschleiß dennoch gering sein – etwa bei den Keramikbremsen in Rennwagen. In anderen Fällen ist der Verschleiß stabiler als die Reibung. Diese permanente Rückkopplung im System verstehen wir noch nicht genau. Was im Kontakt passiert, ist eine Blackbox. Mit Hilfe der Simulation kann ich rechnen, was ich nicht sehen kann. Mit der Kombination von Experiment und Simulation können wir die grundlegenden Mechanismen verstehen.



Start des »µTC«

Das neue Mikrotribologie Centrum µTC startet mit einem Symposium zum Thema »Reibung und Verschleiß berechenbar machen« am 11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe. Rund 15 Millionen Euro investieren die Fraunhofer-Gesellschaft und das Land Baden-Württemberg in die Ausstattung und einen Neubau auf dem Karlsruher Uni-Campus, der 2013 bezogen werden soll. Anmeldung bei marion.futterer@iwm.fraunhofer.de www.mikrotribologiezentrum.de



Modellieren international: MMM2010 in Freiburg

Das Verhalten von Werkstoffen rechnerisch zu beschreiben und vorherzusagen, gehört heute zur Basis jeder Entwicklung. Bei der internationalen Konferenz Multiscale Materials Modeling MMM2010 treffen sich Experten aus aller Welt und aus verschiedensten Disziplinen – darunter Werkstoffwissenschaft, Physik, Mathematik, Chemie, Biologie. www.mmm2010.de

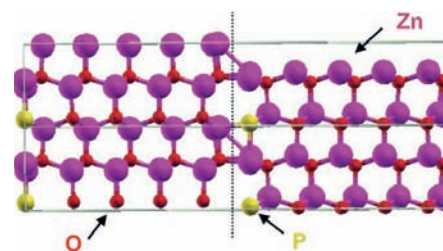
CO₂-arme flexible Kraftwerke

Effizienzsteigerung, CO₂-Minderung und gesteigerte Flexibilität sind die Herausforderungen für Kohlekraftwerke. Die 700-Grad-Technologie ist dafür ein wichtiger Schlüssel. Durch neue Werkstoffe sollen zukünftig extrem hohe Dampftemperaturen möglich werden und so eine Effizienzsteigerung herbeiführen, die letztlich zu einer CO₂-Reduktion führt. Um die Werkstoffe schnell für den Einsatz zu qualifizieren, untersucht das Fraunhofer IWM im Auftrag von ThyssenKrupp VDM und RWE Power neue Hochleistungswerkstoffe und entwickelt dafür Werkstoffmodelle. »Je besser wir verstehen, wie sich der Werkstoff unter den hohen Belastungen verändert, desto zuverlässiger werden die Simulationsmethoden sein, die wir zur Lebensdauerprognose von Kraftwerkskomponenten anwenden können«, erläutert Dr. Thomas Seifert. thomas.seifert@iwm.fraunhofer.de

Durchsichtige Solarzellen und LED-Displays

Durchsichtige Elektronikmaterialien sollen Anwendungen in Photovoltaik, Architektur, Unterhaltungselektronik und Fahrzeugbau vervielfachen. Fenster und Fassaden könnten zu transparenten Solarzellen werden, Autos ohne traditionelle Scheinwerfer leuchten, Fernseh- und Computerbildschirme mehrere Ebenen anzeigen. Noch sucht und erprobt die Forschung Materialien, die funktionieren, bezahlbar und ausreichend verfügbar sind.

Seit 2007 entwickelt das Fraunhofer IWM in Freiburg dafür physikalische Werkstoffmodelle. Sie machen Eigenschaften dieser neuen Materialien am Computer berechenbar. Denn das Geheimnis der transparenten Elektronik steckt im atomistischen Detail: Gesucht sind sogenannte »transparent conductive oxides« (TCO) für Elektroden, die sowohl Licht (Photonen) durchlassen als auch Strom (Elektronen) transportieren. Mit Superelementen-Modellen aus bis zu 200 Atomen entwickeln



Prof. Christian Elsässer und sein Team theoretische Modellvorstellungen für polykristalline Oxidmaterialien, etwa Zinkoxid, erst ohne und dann mit Dotierelementen (wie Aluminium oder Stickstoff). Mit den Berechnungen lässt sich vorhersagen, welche Oxide als Wirtsmaterialien und welche Elemente zur Dotierung geeignet sind, und wie optische Durchsichtigkeit und elektrische Leitfähigkeit der TCO gleichzeitig realisiert werden können. Ab 2010 geht die Entwicklung in die nächste Runde: Die Prozessführung für TCO-Schichten soll vom Labor in die industrielle Produktion überführt werden.

christian.elsaesser@iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM charakterisiert, simuliert und bewertet das Verhalten von Werkstoffen, Bauteilen und Systemen unter dem Einfluss äußerer Kräfte in unterschiedlichen Umgebungen. Für Unternehmen und öffentliche Auftraggeber erarbeitet das Fraunhofer IWM Lösungen, die die Sicherheit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Funktionalität von technischen Bauteilen und Systemen verbessern.

Naturfaserstoffe: Mehr als Ersatz

Nicht nur ökologisch kann der Einsatz von Naturfaserverbundstoffen Vorteile bringen. »Ihr Eigenschaftsprofil ermöglicht den Einsatz von Naturfasern über die reine Materialsubstitution hinaus«, betont Sven Wüstenhagen vom Fraunhofer IWM in Halle. Weil sich ästhetische Effekte an



der Oberfläche quasi mit eingeflechten lassen, kann man solche Bauteile textil gestalten, eine Dekorfolie wird überflüssig. Daneben prüft das Fraunhofer IWM in Zusammenarbeit mit Airbus anwendungsspezifische Funktionseinträge. Dahinter verbergen sich nicht nur Sichtlamine und ihre textile Konstruktion, die das IWM gemeinsam mit der Hochschule für Kunst und Design Burg Giebichenstein entwickelt. Dazu gehören auch sicherheitstechnische Funktionen wie die Integration von elektrolumineszenten Leuchtkabeln. So sparen Naturfaserverbundwerkstoffe nicht nur Gewicht ein und dienen aufgrund ihres nachwachsenden Rohstoffs der Ökologie. Die Vorteile sollen im Flugzeugbau, aber auch in anderen Großfahrzeugen wie Straßenbahnen zur Geltung kommen. Die Herausforderung beim Einsatz von Materialien aus regenerativen Quellen sind die Qualitätsschwankungen von Naturfasern und die Einflüsse der gegenüber Glasfasern komplexeren textilen Prozesskette. Den Einfluss der Naturfasern auf Bauteilqualität und Reproduzierbarkeit nimmt deshalb das Fraunhofer IWM unter die Lupe und sucht derzeit Verarbeitungsfirmen für eine Kooperation.

sven.wuestenhagen@iwmh.fraunhofer.de

Impressum

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

Institut Freiburg

Wöhlerstraße 11, 79108 Freiburg
Telefon +49 761 5142-0

Institut Halle

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