

**Hochdurchsatzscreening  
Versteckten Defekten  
auf der Spur**

**Längere Lebensdauer  
für Turbinen  
Der tiefe Blick in die Solarzelle**

**Röntgen-CT als Prüfmethode  
Innovationspreis für  
Kupfer-Materialmodell**

2 • 2015

## Verständnis der Mikrostruktur als Basis für innovative Weiterentwicklung von Werkstoffen und Bauteilen



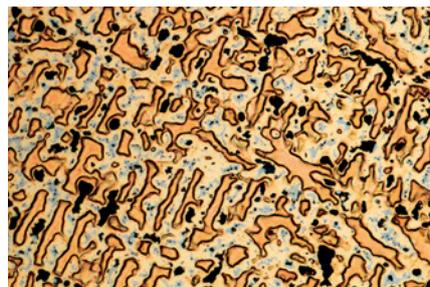
Prof. Dr. Peter Gumbsch

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

es ist eine einfache aber entscheidende Erkenntnis: Der innere Aufbau, also die Mikrostruktur, bestimmt die Eigenschaften eines Materials. Hier entscheidet sich, ob ein Werkstoff die für seinen Einsatz erforderlichen Voraussetzungen erfüllt oder nicht.

Die Industrie braucht angesichts des schnellen Entwicklungsfortschritts, steigender Anforderungen an Effizienz, Lebensdauer und Zuverlässigkeit echte Materialinnovationen. Das Fraunhofer IWM arbeitet gemeinsam mit seinen Industriepartnern daran, die Mikrostruktur von Werkstoffen und Bauteilen auf der Grundlage experimenteller und rechnerischer Mikrostrukturaufklärung für spezielle Funktionen und Belastbarkeiten einzustellen. Die Herausforderungen sind groß, denn ein Werkstoff verändert sich während der Verarbeitung ja andauernd. Und auch im Einsatz ändert sich seine Mikrostruktur und damit auch die Eigen-

schaften – gewollt oder ungewollt. Das komplexe Zusammenspiel von äußerer Belastung und innerer Antwort des Werkstoffes darauf besser zu durchschauen und zu beeinflussen ist ein unerschöpfliches Feld für Innovation und Wettbewerbsfähigkeit in nahezu allen Industriebereichen. Gemeinsam spielen die Standorte in Freiburg und Halle hier eine führende Rolle.



In Halle ist man beispielsweise mikrostrukturellen Fehlern in Elektronikbauteilen auf der Spur, die gravierende Folgen haben können (Seite 2). Mit einem Röntgen-Computer-Tomographen erstellen die Forscher dreidimensionale Abbildungen der Mikrostruktur von Polymerschäumen um diese berechenbar zu machen (Seite 4).

Mit einer neuen Form des Hochdurchsatzscreenings aus Freiburg können am Computer zum Beispiel Magnetwerkstoffe mit vorgegebenen Eigenschaften entworfen werden (Seite 2). Zu diesen und weiteren spannenden Themen aus der Mikrostrukturwelt lesen Sie im aktuellen Fraunhofer IWM Report.

### Aus eins mach zwei – neues Fraunhofer IMWS

Es ist ein besonderer Schritt für die Fraunhofer-Gesellschaft und wichtig für den Forschungsstandort Halle: Ab dem 1. Januar 2016 wird der Institutsteil Halle aus dem Fraunhofer IWM ausgegliedert und zum Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS. Der Institutsteil Freiburg firmiert weiterhin als Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM. Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Werkstoffe, Bauteile und Systeme hat vor dem Hintergrund der positiven Wirtschaftsentwicklung eine derart starke Dynamik angenommen, dass zwei eigenständige Institute eine sinnvolle und zukunftsorientierte Lösung sind. »Es entstehen zwei starke Institute, die sich mit ihrer jeweiligen Expertise noch besser auf dem Forschungsmarkt positionieren können. Zudem sinkt der Aufwand für Koordination und Abstimmung«, betont Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn, Institutsleiter des neuen Fraunhofer IMWS. Auf speziellen Gebieten, wie dem Werkstoffdesign oder im Bereich der Verbundwerkstoffe, wird es aber weiterhin eine enge Zusammenarbeit geben.

Ich wünsche eine erkenntnisreiche Lektüre

Peter Gumbsch  
(Institutsleiter und Sprecher der Institutsleitung)

## Hochdurchsatzscreening



Bestimmte Materialien sind zwar für ein Produkt grundlegend, erfüllen aber entscheidende Kriterien nicht: sie sind für einen rentablen Einsatz zu teuer, nicht versorgungssicher, oder entsprechen nicht den Ansprüchen an Nachhaltigkeit. Deshalb ist die Industrie an Ersatzwerkstoffen interessiert.

Ein wichtiges Beispiel sind Dauermagnete. Diese müssen klein gestaltbar sowie magnetisch stark, temperaturbeständig und richtungsstabil polarisiert sein. Dafür sind bisher Verbindungen aus Seltenen Erden und Übergangsmetallen im Gebrauch, die nach den oben genannten Kriterien kritisch sind. Ersatzmaterialien durch empirische Forschung zu identifizieren dauert für Unternehmen oft zu lange.

Das Fraunhofer IWM in Freiburg hat ein hocheffizientes Simulationsverfahren entwickelt, mit dem sehr schnell und zielorientiert nach geeigneten Ersatzmaterialien gesucht werden kann. Auf der Grundlage von quantenmechanischen Elektronenstrukturberechnungen werden mit diesem Verfahren Kristallstrukturen in vielen Varianten mit Atomen dekoriert und dafür die Materialeigenschaften vorhergesagt. »Mit unseren Verfahren konzentrieren wir uns in einem ersten Durchlauf auf wenige notwendige Eigenschaften, die ein gesuchtes Material haben muss«, sagt Prof. Dr. Christian Elsässer. In weiteren Verfahrensschritten werden dann die in Frage kommenden Materialkandidaten mit einer Kombination aus Simulation und Experiment gezielt auf weitere, hinreichende Eigenschaften geprüft und optimiert. So können verwertbare Ergebnisse schneller generiert werden, und das schon mit vergleichbar geringen Computer-Ressourcen, was erheblich Zeit und Geld spart. Für die zuverlässige Einschätzung der praktischen Verwertbarkeit der Screening-Ergebnisse ist das gründliche physikalische Materialverständnis am Fraunhofer IWM wesentlich.

Mit diesem Hochdurchsatzscreening bietet das Fraunhofer IWM Freiburg seinen Industriepartnern eine praktisch einsetzbare Vorgehensweise zum Aufspüren von Ersatzwerkstoffen für Dauermagnete an, die auch für andere Funktionsprodukte geeignet ist. [christian.elsaesser@iwm.fraunhofer.de](mailto:christian.elsaesser@iwm.fraunhofer.de)

## Versteckten Defekten auf der Spur

In der Autoindustrie hängen schon jetzt mehr als 80 Prozent der Innovationen von der Elektronik ab, und dabei stehen neue Entwicklungen wie das vernetzte Fahrzeug, das automatisierte Fahren und die Elektromobilität noch am Anfang. Dies alles wird die Anforderungen an die Elektronik in puncto Robustheit, Zuverlässigkeit und Sicherheit noch erhöhen. Die immer winzigeren Bauteile müssen absolut fehlerfrei funktionieren, und das unter den oft extremen Bedingungen einer industriellen Fertigung oder des Straßenverkehrs. Dadurch erwächst dem neuen Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle ein immer größer werdender Aufgabenbereich.



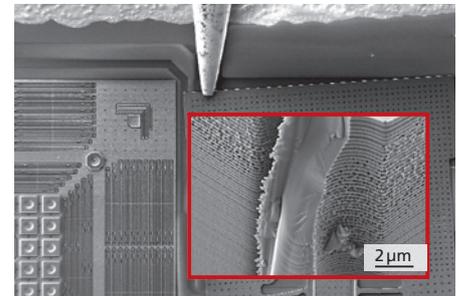
Prof. Dr. Matthias Petzold,  
Stellvertretender Institutsleiter, Geschäftsfeldleiter  
Komponenten der Mikroelektronik und Mikro-  
systemtechnik

■ **Professor Petzold, unsere Lebenswelt ist zunehmend durchsetzt mit Elektronik, Mikrochips und Sensoren. Welche speziellen Aufgaben ergeben sich dadurch für die Mikrostrukturdiagnostik?** Mikroelektronische Bauteile sind ja unglaublich kleine und komplexe Wunderwerke der Technik. Liegt eine elektronische Fehlfunktion vor, ist die größte Herausforderung herauszufinden, wo in dem Bauteil der Defekt lokalisiert ist. Sie müssen sich vergegenwärtigen, dass sich auf einem Chip bis zu vier Milliarden einzelne Transistoren befinden können. Dagegen ist die berühmte Stecknadel im Heuhaufen leicht zu finden. Wir haben zum Beispiel mit der Lock-in-Thermographie ein neues Analysetool entwickelt, das die Wärmeentwicklung an der Defektstelle detektiert und dadurch die Fehlerfindung unterstützt.

■ **Was sind denn die häufigsten Fehlerursachen?**

Grundsätzlich muss man differenzieren: Es gibt auf der einen Seite Fehlfunktionen, die ihre Ursachen in einem Fertigungsfehler haben, und auf der anderen Seite Defekte durch die Beanspruchung in der Anwendung. Für das tiefgreifende Verständnis und die Technologieoptimierung ist diese Unterscheidung sehr wichtig. Was den Einfluss-

faktor Einsatzbedingungen betrifft: Für die im Motorraum des Autos eingesetzte Elektronik spielt zum Beispiel der ständige Temperaturwechsel und die damit verbundenen hohen thermomechanischen Belastungen eine große Rolle. Es werden aber zunehmend auch chemische Wechselwirkungen immer wichtiger, die in Verbindung von Feuchtigkeit und Kontaminationen zu unerwünschten chemischen Reaktionen führen, beispielsweise zu Korrosionsproblemen. Weil Autos und Geräte immer mehr mit Elektronik vollgestopft sind, wird es zunehmend schwieriger, die Elektronik komplett von den Umgebungsbedingungen abzukapseln. Dadurch wird die Berücksichtigung von Faktoren wie Nässe, Schadgase, Öldämpfe oder Schmutz wichtiger, um die Bauelemente weniger anfällig zu machen.



■ **Wie gehen Sie vor, wenn Sie einen Fehler detektiert haben?**

Für die eigentliche Analytik nutzen wir eine große Zahl unterschiedlicher Abbildungsverfahren. Mit unseren Licht- und Elektronenmikroskopen können wir die Details der Materialien wie die Kornstruktur in den metallischen Kontaktierungen, die auftretenden Reaktionen in den Grenzflächen, die kleinsten Schichtstrukturen der Halbleiter, bis hin zu Defekten auf atomaren Ebene sichtbar machen. Diese Techniken werden kombiniert mit der physikalischen Diagnostik wie der Röntgen und Massenspektrometrie oder der chemischen Analytik. Entlang der für die Fehlerdiagnostik benötigten Kette von der zerstörungsfreien Diagnostik über hochgenaue Zielpräparationsverfahren bis hin zur Mikrostrukturdiagnostik, Oberflächen- und Spurenanalytik sind wir technisch sehr breit aufgestellt. Die Verfahren sind aufeinander abgestimmt und wir sind nicht auf bestimm-

## Längere Lebensdauer für Turbinen

Nickellegierungen eignen sich für hohe thermozyklische Belastungen wesentlich besser als konventionelle Stähle. Das ist ein Grund, weshalb sie zum Beispiel in Gasturbinen bevorzugt eingesetzt werden. Sie müssen beispielsweise in Flugzeugen die Start- und Landezyklen aushalten. Auch konventionelle Kraftwerke werden im Zuge der Energiewende häufiger hoch- und heruntergefahren, was für die Turbinen eine starke Mehrbelastung bedeutet.

Das Fraunhofer IWM in Freiburg hat eine neue Versuchseinrichtung entwickelt, mit dem es diese Belastungen sehr präzise abbilden kann. Damit wurde jetzt das Rissverhalten von unterschiedlichen Nickellegierungen unter verschiedenen Belastungen bei wechselnden Temperaturen untersucht. Die Laborprobe wird dabei mittels Induktion erwärmt. »Wir haben Messdaten für die wichtigsten Phasenbeziehungen erhoben«, sagt Michael Schlesinger. Wichtige Erkenntnis: Besonders schnell wachsen die Risse bei langsamerer Belastung. Um die Schädigungsmechanismen genau verstehen zu können, wurden die Proben auch auf Mikrostrukturebene untersucht. »So lässt sich zum

Beispiel herausfinden, ob man über die Veränderung der Korngrenzorientierung in der polykristallinen Struktur der Legierung, das Rissverhalten beeinflussen könnte«, erklärt Schlesinger.



Die Messdaten fließen zudem in mechanismen-basierte Modelle ein, die es möglich machen, die Laborergebnisse auf das Verhalten ganzer Bauteile zu übertragen. »Unsere Industriepartner nutzen die Daten bereits für Lebensdauerberechnungen von ihren Bauteilen«, sagt Schlesinger. Aber auch die thermomechanischen Messdaten selbst stoßen bei den Unternehmen auf Interesse, denn so umfassende Datensätze konnten bislang nicht erhoben werden. Für seine Arbeit erhielt Michael Schlesinger den Werkstoffmechanikpreis 2015.

[michael.schlesinger@iwm.fraunhofer.de](mailto:michael.schlesinger@iwm.fraunhofer.de)

Beispiel aus Galliumnitrid (GaN) Einsatz finden und den Halbleiter Silizium ergänzen. GaN-Halbleiter haben einen höheren Wirkungsgrad, schalten schneller und ermöglichen kompaktere Bauweisen.

In großen Rechenzentren kann man zum Beispiel den Aufwand für die Kühlung reduzieren. Aber auch Netzteile für unsere tragbaren Elektronikgeräte lassen sich kompakter gestalten. Marktanalysen sagen daher für GaN-Halbleiter ein rasantes Wachstum voraus. Auf jeden Fall ergibt sich noch ein beachtlicher Forschungsbedarf um die Kosten zu senken, vor allem aber um die Robustheit und Langlebigkeit der Bauteile abzusichern. Die Untersuchung der Defektrisiken in GaN-Halbleitern und die Erforschung neuer Technologien, mit denen GaN-Bauelemente sicherer und zuverlässiger hergestellt werden können, wird für uns in Zukunft ein großes Arbeitsfeld werden. Durch das in diesem Jahr gestartete europäische ECSEL-Projekt PowerBase haben wir einen exzellenten Rahmen, um in Kooperation mit den führenden europäischen Elektronik-Unternehmen und Forschungsinstituten an diesen Entwicklungen mitarbeiten zu können.

[matthias.petzold@imws.fraunhofer.de](mailto:matthias.petzold@imws.fraunhofer.de)



Seit Mai 2015 leitet Dr. Ralf Schlimper die neu gegründete Gruppe »Faserverbundstrukturen« im Geschäftsfeld Polymeranwendungen in Halle.

Der 32-Jährige hat an der Hochschule in Bremen Maschinenbau mit Schwerpunkt Luft- und Raumfahrttechnik studiert. 2007 kam er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Fraunhofer IWM. Zentrales Arbeitsfeld der neuen Gruppe ist es, fertigungs- und einsatzbedingte Fehler und Schädigungen an Faserverbundstrukturen zu detektieren und deren Auswirkungen auf das Materialverhalten zu analysieren. »Um Schäden und Fehler möglichst früh zu erkennen, integrieren wir zerstörungsfreie Prüfmethoden direkt in den Fertigungsprozess«, erklärt Schlimper.



Mit werkstoffgerechten Simulationsmethoden lassen sich die Auswirkungen von Fehlern auf das Strukturverhalten zuverlässig vorhersagen. Anhand von Strukturtests werden die entwickelten Methoden experimentell evaluiert.

[ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de](mailto:ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de)



Diamantähnliche Kohlenstoffbeschichtungen (DLC) und Diamantbeschichtungen stehen im Mittelpunkt der Gruppe »Tribologische Schichtsysteme« in Freiburg. Diese Schichten werden vor allem auf hochbelasteten und bewegten Bauteilen wie Wälzlagern oder Dichtungen eingesetzt. Hier liegt die Expertise des 43-jährigen Bernhard Blug, der die Gruppe seit Mai 2015 leitet. Durch langjährige Projekterfahrung und Kundenkontakte hat der Physiker ein Gespür dafür entwickelt, wie ein Schichtsystem für einen spezifischen Anwendungsbereich idealerweise aussehen muss. Aktuell beschäftigt sich sein sechsköpfiges Team damit, wie Diamantbeschichtungen auf Hartmetallwerkzeuge aufgebracht werden können, ohne dass diffundierendes Cobalt die Verschleißfestigkeit der Schicht einschränkt. Im DLC-Bereich sind unter anderem Beschichtungen von Elastomer-Dichtungen ein Fokus der Entwicklungsarbeit. Substrat und Beschichtung werden auf Mikrostrukturebene angepasst, um eine optimale Haftung der Beschichtung zu erreichen. Die Beschichtungsanlagen baut das Team für diese Zwecke selbst.

[bernhard.blug@iwm.fraunhofer.de](mailto:bernhard.blug@iwm.fraunhofer.de)

[bernhard.blug@iwm.fraunhofer.de](mailto:bernhard.blug@iwm.fraunhofer.de)

► mte Materialien oder Methoden spezialisiert. Das versetzt uns in die Lage, Fragestellungen der Industrie für viele unterschiedliche Technologien und Problemfälle sehr schnell und zielgerichtet zu lösen. Das unterscheidet uns vielleicht von anderen Playern im Bereich der Mikrostrukturdiagnostik.

■ **Sie betreiben die Mikrostrukturdiagnostik ja vielfach von der Werkstoffseite her. Gibt es denn Materialien in der Elektronikwelt, von denen Sie sich besonders viel versprechen?**

Zunächst einmal denke ich, dass zwei Bereiche in der Elektronikwelt für uns zukünftig immer wichtiger werden. Zum einen die Nanoelektronik, die für Infotainment und leistungsfähige Assistenzsysteme im Kraftfahrzeug notwendig ist, und damit Einzug in das herausfordernde Feld der Automobiltechnik hält. Zum anderen die Leistungselektronik, die durch Aspekte der Energieeffizienz und der intelligenten Fertigung in der Industrie vorangetrieben wird. Was die Werkstofffrage betrifft, so gibt es in beiden Feldern viele interessante Neuerungen vor allem in den Kontakt- und Gehäusematerialien. In der Leistungselektronik werden aber auch neue Halbleitermaterialien, zum

## Preis für Kupfer-Materialmodell

Für die Entwicklung eines neuen Kupfer-Materialmodells zur Prozess- und Bauteilsimulation erhielten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IWM in Freiburg gemeinsam mit dem Forschungsinstitut Edelmetalle und Metallchemie fem in Schwäbisch Gmünd den Innovationspreis 2015 des Deutschen Kupferinstituts DKI.

Da im Automobil immer mehr Elektronik verbaut wird und elektrische Antriebe zunehmen, steigen die Anforderungen an die benötigten Kupfersteckverbindungen rasant. Betriebstemperaturen und mechanische Belastungen nehmen zu, gleichzeitig müssen die Bauteile immer kleiner werden. Viele Gründe, warum die computergestützte Auslegung und Optimierung von Kupferbauteilen für Hersteller immer wichtiger wird.



»Wir stellen jetzt ein Werkstoffmodell zur Verfügung, mit dem das komplexe Verhalten von Kupfer-Bauteilen präziser vorhergesagt werden kann«, erläutert Dr. Matthias Weber. »Wir können damit das Relaxationsverhalten exakt beschreiben – davon hängt es ab, wie sich das Bauteil zeit- und temperaturabhängig verhält.« Das Team entwickelte das mechanismen-basierte Materialmodell auf der Grundlage von Messdaten, die sie mit Zug- und Relaxationsversuchen an ausscheidungsgehärteten Kupferlegierungen bei unterschiedlichen Temperatur- und Belastungsbedingungen erhoben hatten. Nun können sie zum Beispiel die Klemmkraft und plastische Dehngrenze eines beliebig geformten Kupferbauteils sehr exakt vorhergesagen. Damit werden kosten- und zeitaufwändige Versuchsreihen zum Langzeitverhalten eines Bauteils vermieden.

[matthias.weber@iwm.fraunhofer.de](mailto:matthias.weber@iwm.fraunhofer.de)

### Fraunhofer IWM

Das Fraunhofer IWM ist Forschungs- und Entwicklungspartner für die Industrie und für öffentliche Auftraggeber zur Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität von Bauteilen und Systemen. Wir erarbeiten nachhaltige und ressourceneffiziente Lösungen für die optimierte Nutzung von Werkstoffeigenschaften, für neue Bauteilfunktionen und innovative Fertigungsverfahren.

Wenn Sie den IWM Report nicht erhalten möchten, bitten wir um eine E-Mail an [info@iwm.fraunhofer.de](mailto:info@iwm.fraunhofer.de)

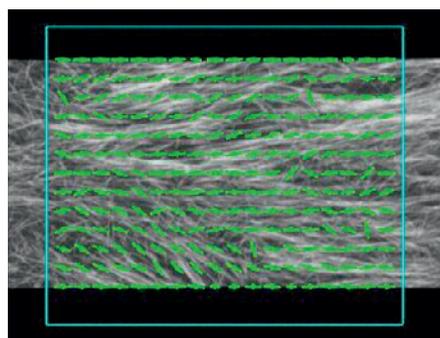
## Röntgen-CT als Prüfmethode

Für Hersteller von Leichtbaustrukturen ist es wichtig, genau zu wissen, wie sich der verwendete Werkstoff unter Belastung verhält, denn Sicherheit ist ein entscheidendes Kriterium. Hierzu bietet die Gruppe »Faserverbundstrukturen« in Halle entscheidende Einblicke: Mit einem Röntgen-Computer-Tomographen erfassen sie die innere Struktur des Werkstoffs dreidimensional.

»Wir können in den Computer-Tomographen eine mechanische Prüfmaschine einbauen«, sagt Gruppenleiter Dr. Ralf Schlimper. Die Werkstoffprobe wird dann im Röntgen-CT schrittweise belastet. In den dreidimensionalen Bildsequenzen können die Forscherinnen und Forscher auf Mikrostrukturebene erkennen, wie und wann Schädigungen im Material auftreten und wo die Versagensgrenzen liegen. »Viele Verformungs- und Versagensmechanismen, zum Beispiel an der Zellstruktur von Polymerschäumen, lassen sich überhaupt nur unter Belastung beobachten«, betont Schlimper.

Darüber hinaus werden die 3D-Bilddaten genutzt, um am Computer ein Modell des untersuchten Materials zu erstellen. »So können wir wie in einem virtuellen Testlabor an dem Werkstoff Experimente durchführen und daraus ableiten, wie er mit Blick auf seine Eigenschaften optimiert werden kann«, erklärt Schlimper. Für Industriepartner eine wichtige Grundlage, um verwendete Kunststoffe weiterzuentwickeln.

[ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de](mailto:ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de)



### Impressum

Text: Petra Völzing, Grafik: Erika Hellstab

Fotos: © Achim Käflein, Freiburg,

© S.K.U.B. Freiburg,

© Fraunhofer PAZ, © Matthias Ritzmann,

Halle, © Markus Scholz, Halle

Verantwortlich: Thomas Götz

[thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de](mailto:thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de)

© Fraunhofer IWM, [www.iwm.fraunhofer.de](http://www.iwm.fraunhofer.de)

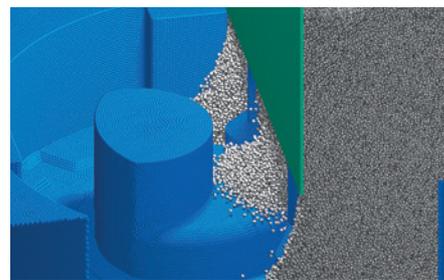
### Fraunhofer IWM Freiburg

Wöhlerstraße 11, 79108 Freiburg

ab 2016 Fraunhofer IMWS Halle

Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle

## Workshop Partikelsimulation



Um den Nutzen der Partikelsimulation für industrielle Anwendungen geht es in einem Workshop, zu dem das Fraunhofer IWM am 26. und 27.01.2016 nach Freiburg einlädt. Die Methode ermöglicht die rechnergestützte Abbildung und Optimierung von Prozessen in der Granulat- und Pulververarbeitung. Geeignet ist sie auch zur Beschreibung komplexer Flüssigkeiten und Prozesse mit großer Festkörperdehnung. Infos unter Veranstaltungen auf [www.iwm.fraunhofer.de](http://www.iwm.fraunhofer.de) [clas.bierwisch@iwm.fraunhofer.de](mailto:clas.bierwisch@iwm.fraunhofer.de)

## Der tiefe Blick in die Solarzelle

Die Steigerung des Wirkungsgrades steht nach wie vor im Mittelpunkt der Entwicklung neuer Siliciumsolarzellenkonzepte, aber es gibt Störfaktoren von außen. »Verunreinigungen und Defekte können die Oberflächen der Solarzellen elektrisch stören und deren Wirkungsgrad beeinträchtigen«, erklärt Susanne Richter vom Fraunhofer CSP. Bei den neuen Solarzellenkonzepten, die Fraunhofer CSP und Fraunhofer ISE gemeinsam vorantreiben, werden ultradünne Oxidschichten aufgebracht, die einerseits die Solarzellen elektrisch passivieren und andererseits den Ladungsträgertransport ermöglichen.

Susanne Richter und ihr Team haben diese Schichten zum ersten Mal auf atomarer Ebene untersucht. Dafür wurde sie in Halle mit dem SiliconPV Award ausgezeichnet. Sie nutzte für ihre Untersuchungen eine Kombination aus chemischer Oberflächenanalytik, hochauflösender Elektronenmikroskopie und hochempfindlicher Massenspektrometrie.

»Wir konnten Erkenntnisse darüber gewinnen, wie sich die Beschaffenheit der Oxidschicht auf die physikalischen Prozesse in der Solarzelle auswirkt und die elektrischen Eigenschaften beeinflusst«, sagt Richter. Ziel sei es, diese analytischen Verfahren bei den Industriepartnern in der Prozessentwicklung einzusetzen. Zudem zeigte sie, wie eine spezifische Wärmebehandlung die Grenzfläche zwischen Solarzellensubstrat und Oxidschicht strukturell und chemisch verändert, was zu einer Verbesserung der elektrischen Eigenschaften führt. [susanne.richter@csp.fraunhofer.de](mailto:susanne.richter@csp.fraunhofer.de)