

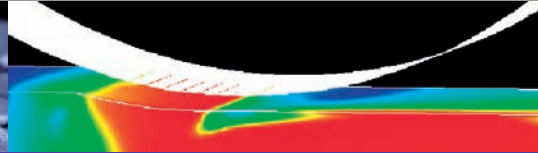
Lock-in-Thermografie
Moderne Mikro-Spurenleser

Seite 2



Glas zu Linsen pressen – schnell
und mit langlebigem Werkzeug

Seite 3



Neubaueinweihung
Sprit sparen beim Pflügen

Seite 4

2 • 2011



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

wo etwas fehlt, entsteht Raum für Neues. Doch nicht immer ist das vielversprechend. Defekte in Materialien können zwar tatsächlich Chancen bieten, aber genauso für Gefahr sorgen. Gefahren gilt es einzugrenzen, Risiken beherrschbar zu machen.

Diesem auch wirtschaftlich begründeten Bedürfnis der Industrie widmet sich dieser IWM Report aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Mal geht es darum, Fehler überhaupt zu finden – etwa in der Mikroelektronik – mal geht es um Sicherheitsanalysen für Kraftwerksbauteile oder die Vorhersage des Materialverhaltens über eine komplette Prozesskette hinweg, die den Werkstoff immer wieder verändert.

Werkstoffe bergen viele Informationen in sich. In diesem IWM-Report geben wir Ihnen Beispiele dafür, wie das Fraunhofer IWM diese ans Licht holt.

Eine spannende Lektüre wünscht

Ihr Ralf Wehrspohn
Sprecher der Institutsleitung

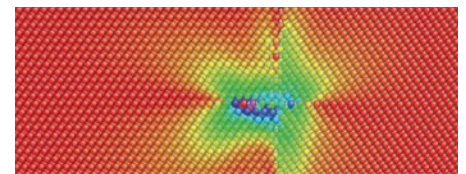
Der fundierte Mut zur Lücke

Risiken lassen sich nicht ausschließen, aber bewerten. Fehler lassen sich, auch wenn es noch so abgegriffen klingt, auch als Chance nutzen. Der Industrie bietet das Fraunhofer IWM dafür im Bereich der Materialien vielfältige Ansatzpunkte – von der zerstörungsfreien Fehlerlokalisierung und Qualitätskontrolle bis hin zur gezielten Nutzung von herstellungsbedingten Defekten.

In der Mikroelektronik geht es darum, in komplexen dreidimensionalen Chipstapeln Defekte zu finden (mehr dazu auf Seite 2). In der Fahrzeugindustrie – von der Tram über den Hochgeschwindigkeitszug und vom Auto bis zum Flugzeug – sind verlässliche Vorhersagen über die Lebensdauer stark beanspruchter Bauteile extrem wichtig für die Sicherheit, zum Beispiel um Inspektionsintervalle festzulegen und so Vorschädigungen zu entdecken, bevor sie beginnen gefährlich zu werden.

Doch Fehler – wissenschaftlich »Fehlstellen« genannt – haben auch ihre positiven Seiten. »Ohne Fehlstellen gäbe es keine Mikroelektronik«, erinnert Prof. Christian Elsässer, Leiter für Physikalische Werkstoffmodellierung am Fraunhofer IWM in Freiburg. Sein Team konzentriert sich auf Werkstoffdefekte in atomarer Größenordnung. Nur die Versetzungen, das sind Unregelmäßigkeiten im Kristallgitter, ließen es zu, einen Werkstoff zu verformen, erläutert Elsässer. Gezielt genutzte Defekte in Polykristallen können ein Material auch extrem hart machen. Atomare Effekte an Korngrenzen nutzt sein Team, um mit Hilfe von Fremdatomen, die dort Platz finden, Materialeigenschaften gezielt zu ändern.

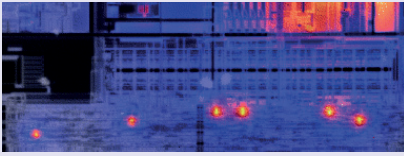
Beeinflussen lassen sich zum Beispiel die spontane ferroelektrische Polarisation, die zum Speichern von Daten genutzt werden kann, oder das plastische Verhalten, aufgrund dessen auch ein gehärtetes Eisen verformbar ist.



Doch selbst mit Fehlern, die Risiken in sich bergen, können Fahrzeug- oder Anlagenbauer gut leben – wenn man diese genau eingrenzen und deren Gefahrenpotenzial bewerten kann. Eine »fehlertolerante Auslegung« sei oft unerlässlich, so Dr. Dieter Siegele, Leiter des Geschäftsfelds Bauteilsicherheit. »Die Ungänze gegossener Teile zum Beispiel lässt sich nicht vollständig verhindern, Gussteile sind von Gasporen durchzogen.« In der Mikrostruktur kann es zu Unregelmäßigkeiten kommen, die das Material schwächen oder Spannung erzeugen. Umso wichtiger für die Anwender, dass die Teile halten. »Wir bewerten, wo genau man ansetzen muss – beim Design, im Herstellungsprozess oder schlicht in der Festlegung sicherer Prüfintervalle«, erläutert sein Kollege Dr. Michael Luke (siehe auch Seite 3).

»Entscheidend ist, Werkstoffe bis ins Detail zu verstehen, um die Leistungsfähigkeit von Material und Bauteil genau zu definieren und die Lebensdauer abzusichern«, fasst der geschäftsführende Institutsleiter des Fraunhofer IWM in Freiburg und Halle, Prof. Ralf Wehrspohn zusammen.

Lock-in-Thermografie Fehlern auf der Spur – auch in 3D-Chips



Wärmebilder von Häusern, die Energieverluste deutlich machen, kennt jeder. Doch auch im Nanometerbereich wird diese Technik zur Prüfung mikroelektronischer Bauteile eingesetzt. Sie lokalisiert elektrische Defekte mit hoher Präzision. Der Vorteil für hochmoderne gestapelte 3D-Bauteile: Das Verfahren findet nicht nur den Fehler, sondern ermittelt zusätzlich die Defekttiefe mikrometergenau innerhalb des Chip-Stapels.

Das Fraunhofer IWM Halle entwickelt dafür gemeinsam mit dem amerikanischen Unternehmen DCG Systems, einem Anbieter von Fehleranalysetools, eine neue Gerätegeneration. Eine erste Version, basierend auf der so genannten Lock-in-Thermografie, ist bereits am Markt erhältlich.

Zur Ausgangslage: In mikroelektronischen Bauteilen fließt Strom über ein hochkomplexes Verdrahtungssystem. Bei einem Defekt in der Leitbahn, etwa durch einen Kurzschluss, erwärmt sich das Bauteil genau an dieser Stelle. Zwar liegen die Temperaturunterschiede nur im Bereich von Millionstel Kelvin und eine konventionelle Wärmebildkamera wäre mit solchen Größenordnungen überfordert. Der Nachweis gelingt mit einer speziellen Lock-in-Verstärkertechnik, kombiniert mit höchstauflösender Infrarot-Optik. Das Verfahren wurde ursprünglich am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle für die Solarzellenprüfung entwickelt.

Auf dem Weltmarkt führende Hersteller wie Toshiba und Texas Instruments untersuchen bereits Bauteile mit dem vom Fraunhofer IWM weiterentwickelten Verfahren. Die sehr guten Ergebnisse, auch bei der Analyse von Stapeln mit 8 bis 16 Chips, seien derzeit noch mit hohem Messaufwand verbunden, da für jede Bauteilgeometrie manuell kalibriert werden muss, schränkt Frank Altmann, Projektleiter am Fraunhofer IWM, ein: »Doch wir arbeiten an einem Auswertalgorithmus, der den Messvorgang vereinfacht und Ergebnisse zukünftig quasi per Kopfdruck generiert.«

frank.altmann@iwmh.fraunhofer.de

Moderne Mikro-Spurenleser

In der Mikrosystemtechnik muss die Diagnostik mit der Technologie mithalten: Nur wenn es möglich ist, die immer kleineren, komplexeren Bauteile nach der Herstellung zu untersuchen, lassen sich hohe Qualität und sichere Anwendung garantieren. Der Bedarf am Markt wächst mit jedem Technologieschritt. Im Gespräch: Prof. Dr. Matthias Petzold, Leiter des Geschäftsfelds Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik.



■ Sie arbeiten eng mit Geräteherstellern zusammen. Was möchten diese Unternehmen in der Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWM erreichen?

Sie wollen mit der Entwicklung in den Mikrotechnologien Schritt halten oder ihr gar einen Schritt voraus sein. Wir bieten ihnen dreierlei: die gemeinsame Entwicklung neuer Verfahren, die Applikationsunterstützung für eine schnelle Markteinführung und vielfältige potentielle Kundenkontakte.

■ Was meinen Sie mit vielfältigen Kontakten?

Nun, im bereits abgeschlossenen EU-Projekt »Full Control« wollten wir Gerätehersteller frühzeitig in die Entwicklung neuer Bauelemente der Mikroelektronik einbinden, damit sie parallel an später benötigten Analytik-Lösungen arbeiten können. Im neuen Vorhaben ESiP, das Teil der europäischen Nanoelektronik-Initiative ist, kooperieren nun sogar 40 Partner aus neun EU-Ländern, darunter die führenden Forschungsinstitute und Firmen der Mikroelektronik, mit Diagnostik- und Testzulieferern. ESiP steht für Efficient Silicon Multi-Chip System-in-Package Integration. Unsere Industriepartner binden wir ebenfalls mit ein. Dies ermöglicht ihnen nicht nur eine bedarfsgerechte Vorlauforschung. Es entstehen auch viele neue Kontakte zu potentiellen Abnehmern der Gerätetechnik.

Für die Geräteentwicklungen nehmen wir außerdem Prüf- und Diagnostikanfragen von Seiten der Anwender auf und erarbeiten gemeinsam Lösungen. Die Anwender profitieren so ebenfalls.

Nicht zuletzt werden durch ein großes Forschungsvorhaben wie ESiP Entwicklungen schneller bekannt, was Unternehmen neugierig macht.

■ An welchen Geräteentwicklungen arbeiten Sie aktuell?

Aktuell stehen wir in der so genannten Lock-in-Thermografie (siehe nebenstehenden Artikel) vor einer neuen Markteinführung. Daneben befinden sich Geräte für den elektrischen Wafertest und Tester für die mechanische Qualitätsbewertung elektrischer Kontaktierungen in Entwicklung.

Ein weiteres Gerät zielt auf die Detektion von verborgenen rissartigen Defekten im Inneren elektronischer Bauelemente und die Bewertung mechanischer Schichteigenschaften mittels Ultraschallmikroskopie im Gigahertzbereich. Hier arbeiten wir eng mit dem Hersteller PVA Tepla Analytical Systems zusammen, und das sowohl in der Geräte-Hardware- als auch in der Software-Entwicklung.

■ Ist diese Detektion bislang nicht möglich?

Für Schichten im Bereich von 1 bis 5 Mikrometern gibt es bislang kein zerstörungsfreies Verfahren, um verborgene Risse festzustellen. Mit dem Gerät lassen sich künftig Schäden durch elektrisches oder mechanisches Versagen viel besser vermeiden. Gerade die zunehmend komplexeren Systeme machen eine frühe Rissdetektion wichtiger – wegen der hohen Folgekosten eines Fehlers.

■ Wann kommt dieses Gerät auf den Markt?

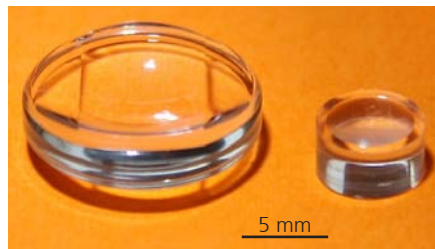
Wir wollen mit unserem Partner die Entwicklung bis 2012 abschließen. Danach gilt es, den Prototyp zur Serienreife zu entwickeln.

Glas zu Linsen pressen – schnell und mit langlebigem Werkzeug

Gläser zu optischen Linsen pressen, ohne sie nachbearbeiten zu müssen – ein alter Hut? Schließlich wird das so genannte Präzisionsblankpressverfahren seit gut 30 Jahren in Japan eingesetzt, um Linsen für Handys und CD-Player in großen Stückzahlen herzustellen. Rund zehn Minuten dauert es dort, eine Linse zu pressen.

Neu ist: Forscher des Fraunhofer IWM haben jetzt gemeinsam mit Industriepartnern erfolgreich nach Lösungen gesucht, die das Verfahren auch für die Produktion kleinerer Stückzahlen in Deutschland lohnend machen. Dabei haben sie die Produktionszeit um den Faktor fünf verkürzt. Ein bis zwei Minuten braucht die neue, derzeit noch als Laborapparatur betriebene Maschine um sie herzustellen: die beidseitig gepressten hochwertigen asphärischen Linsen für Sensoren und bildgebende Systeme. Doch IWM-Projektleiter Dr. Peter Manns betont, dass Schnelligkeit nicht das einzige Plus ist. Die Verarbeitung künftig vorgeschriebener bleifreier optischer Gläser und das Umformen bei niedrigen Temperaturen – je nach Glasart zwischen 450 und 600 Grad Celsius – tragen dazu bei, dass sich die Technologie auch in Europa durchsetzt.

Die Glasrohlinge, das Ausgangsmaterial, sind polierte Kugeln oder kreisförmige Scheiben. Sie werden extern erhitzt und bereits erwärmt ins Formwerkzeug eingebracht, gepresst und noch warm wieder entnommen. »Zur Entnahme müssen wir nur die Transformationstemperatur abwarten, also den Zeitpunkt, zu dem das ge-



formte zähflüssige Glas wieder den festen Zustand erreicht«, erläutert Peter Manns. Das ermöglichen neben einer präzisen Automatisierungstechnik vor allem die Formwerkzeuge. Sie bestehen aus mit Edelmetall (Platin und Iridium) beschichtetem Hartmetall. »So verhindern wir chemische Reaktionen zwischen dem flüssigen Glas und der Form«, erklärt Peter Manns. Die Schnelligkeit des Prozesses und die Langlebigkeit der Werkzeuge machen die Nutzung einer solchen Heißprägetechnologie künftig rentabel.

peter.manns@iwm.fraunhofer.de

Kraftwerke und Chemieanlagen sicher fahren trotz Materialdefekt

Jedes Sicherheitsventil, jeder Druckregler, jede Komponente im System muss fehlerfrei funktionieren. Ist ein sicherer Anlagenbetrieb nicht gewährleistet, drohen hohe wirtschaftliche Einbußen und Personenschaden.



Ermitteln zerstörungsfreie Prüfungen z.B. in einem Ventilgehäuse Materialdefekte, ist eine präzise Bewertung der Fehler unerlässlich. Problem: Das Bauteil lässt sich im laufenden Betrieb nicht ausbauen und ersetzen. Die Folge: hohe Kosten. Mit Hilfe einer Sicherheitsanalyse des Fraunhofer IWM kann der Betreiber das Risiko klar

eingrenzen, Prüfintervalle festlegen oder auch erleichtert aufatmen, wenn sich herausstellt, dass der Defekt unter bestimmten Belastungsszenarien keine Gefahr darstellt.

Teams im Geschäftsfeld Bauteilsicherheit in Freiburg unter Leitung von Dr. Dieter Siegele simulieren deshalb mit bruchmechanischen Modellen, die gezielt auf die Geometrie und den Werkstoff ausgerichtet sind, wie sich der Fehler im Bauteil – etwa Poren oder Schlacke-Einschlüsse – verhält: Bildet sich am Fehler ein Riss? Wächst dieser Riss, wenn ja, um wieviel? Wann erreicht er womöglich die Bauteilwand und führt damit zum Versagen des Bauteils? »In Kombination mit Untersuchungen der Werkstoffmikrostruktur und der Bruchfläche kann meist auch die Ursache eines Fehlers analysiert werden«, sagt Dieter Siegele.

dieter.siegele@iwm.fraunhofer.de

Mikrochips atomar auflösen



Seine Leidenschaft sind Laser, Durchstrahlungselektronenmikroskope (TEM) und ihr Einsatz in der Nanoanalytik: Beste Voraussetzungen dafür, dass Dr. Thomas Höche

die Charakterisierung mikrosystemtechnischer Bauteile im Fraunhofer IWM in Halle noch breiter aufstellt.

Seit Dezember 2010 baut der 42jährige Physiker dort mit 1,7 Millionen Euro aus dem Fraunhofer-Attract-Programm eine Gruppe zur »nanoskaligen Bewertung von Fügeverbindungen der Mikrosystemtechnik« auf und bleibt außerordentlicher Professor für Experimentalphysik an der Uni Leipzig. Seine Aufgaben am Leipziger Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung und als Patentmanager der 3D-Micromac AG in Chemnitz hat er dagegen abgegeben. Seit 2002 war er von Halle gependelt, nun radelt der Vater zweier Kinder in drei Minuten zur Arbeit. Dort konzentriert er sich auf die Untersuchung der atomaren Struktur von Grenzflächen, die beim ultraschallunterstützten Bonden von Metall und Glas durch Laserkristallisation von Glasloten oder Niedertemperatur-Waferbonden entstehen

thomas.hoeche@iwmh.fraunhofer.de

Hitze, Hochdruck – auch im Solarkraftwerk

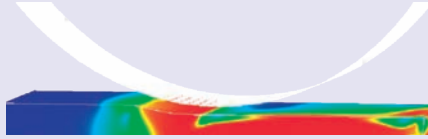


Strom aus der Wüste mit der so genannten Concentrated Solar Power Technologie: Diese speicherfähigen Solarkraftwerke müssen extremen Bedingungen

standhalten. Welche Werkstoffe für diese Anlagen infrage kommen, untersucht Philipp von Hartrott. Kraftwerke aller Art und Fahrzeuge beschäftigen den gelernten Bauingenieur (Universität Weimar) und Softwareentwickler, seit er Mitte 2004 im Bereich »Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik« am Fraunhofer IWM eingestiegen ist. Kessel, Turbinen, Wärmetauscher oder auch Abgasanlagen werden extrem aufgeheizt und zeigen Schwächen, etwa Ermüdungsrisse. Dies zu verhindern und gleichzeitig die Effizienz zu steigern mit leichteren Bauteilen, die noch höhere Drücke und Temperaturen aushalten, daran arbeitet Philipp von Hartrott. Der 39-jährige Vater von drei Kindern simuliert das Werkstoffverhalten und begleitet Projekte bis hin zur Umsetzung der Ergebnisse beim Kunden.

philipp.von.hartrott@iwm.fraunhofer.de

Ein Blech und sein virtueller Lebenslauf



Stahlbleche für Fahrzeugkarosserien haben bis zum Ende ihres Produktlebens viel Prägendes erlebt. Ähnlich wie bei menschlichen Biographien nehmen alle Verarbeitungsschritte Einfluss auf das Verhalten des Endprodukts. Das interessiert diejenigen, die Stahlbleche walzen und als Band ausliefern, genauso wie die Bauteilhersteller, die Bleche zuschneiden und zu Karosserieteilen pressen, und diejenigen, die für Design und Sicherheit der Autoinsassen beim Crash verantwortlich sind.

Da sich der Werkstoff mit jedem Verarbeitungsschritt verändert, lässt sich die Geschichte seines Verhaltens nur erzählen, wenn alle Kapitel der Produktbiographie miteinander verbunden werden. Die Gruppe Formgebung und Umformprozesse des Fraunhofer IWM Freiburg entwickelt genau dafür die Rechenmodelle: Sie beschreiben das Verhalten von Stählen entlang der gesamten Prozesskette.

Der Vorteil: Es entsteht ein virtuelles Labor, um Prozesse besser zu verstehen und Werkstoffeigenschaften zu charakterisieren. Kalibriert wird es mit möglichst wenigen realen Experimenten. »Bei den vielen Stahlsorten und dem Trend zum Leichtbau kann das virtuelle Labor wesentlich zur Optimierung beitragen«, erläutert IWM-Gruppenleiter Dr. Dirk Helm.

Wer besser versteht, wie genau sich das Blech verfestigt, überblicke sofort alle Konsequenzen einer Veränderung und beherrsche den Prozess. Wie hoch muss die Temperatur bei der Wärmebehandlung sein, wie dick das gewalzte Blech? »Mit den Antworten lassen sich Produktionsprozesse ressourceneffizienter gestalten«, betont Helm.

Die Prozesskette eines Dualphasenstahls vom Halbzeug bis hin zum gecrashten Bauteil hat das Fraunhofer IWM bereits durchgängig simuliert – im Rahmen eines BMBF-Projekts mit Partnern aus Industrie und Forschung. »Die Methodik entwickeln wir nun kontinuierlich weiter, um sie auf andere Prozessketten bzw. Werkstoffe zu übertragen«, so Helm. dirk.helm@iwm.fraunhofer.de

Neubaueinweihung



Am 31. Mai 2011 wurde das neue Beschichtungs- und Simulationszentrum des Fraunhofer IWM in Freiburg eingeweiht. Ein Höhepunkt war die Schlüsselübergabe von Dr. Nils Schmid, Minister für Finanzen und Wirtschaft in Baden-Württemberg, an Prof. Alfred Gossner, Vorstand der

Sprit sparen beim Pflügen

Wissenschaftler des IWM in Freiburg haben Pflugschare zur Bodenbearbeitung mit diamantähnlichem Kohlenstoff (DLC) beschichtet.



Damit konnten die Projektpartner in Versuchen die Reibung um mehr als die Hälfte reduzieren. Der Kraftbedarf der Zugmaschine verringerte sich teilweise um über 30 Prozent und dementsprechend der Kraftstoffverbrauch. Weitere Nebeneffekte der Beschichtungen sind der Schutz vor Korrosion und Verschleiß. Der nächste Schritt auf dem Weg zur verschleißfreien Pflugschare ist die weitere Steigerung der Lebensdauer der Beschichtungen.

martin.hoerner@iwm.fraunhofer.de

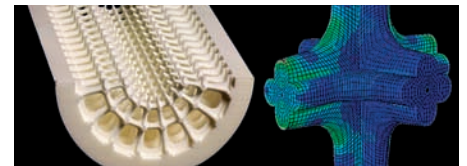
Fraunhofer IWM

Das Fraunhofer IWM betreibt für Industrieunternehmen und öffentliche Institutionen Auftragsforschung und -entwicklung, um die Sicherheit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Funktionalität technischer Bauteile und Systeme zu verbessern und zu gewährleisten. Das Verhalten von Werkstoffen und Systemen wird unter Einsatz- und Fertigungsbedingungen untersucht und simuliert. Das Fraunhofer IWM erarbeitet Lösungen um die Eigenschaften von Werkstoffen und Systemen für auftretende Belastungen optimal einzustellen und entwickelt Fertigungsprozesse.

Fraunhofer-Gesellschaft. Der Bau wurde notwendig, weil das Institut am Standort Freiburg in den letzten Jahren auf über 250 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gewachsen ist. In den neuen Räumen konzentriert das Fraunhofer IWM seine Kompetenzen in der Beschichtungstechnologie sowie der Prozess- und Werkstoffsimulation. Die Gesamtinvestition in Höhe von 7 Mio. Euro wurde jeweils zur Hälfte von der Baden-Württemberg Stiftung sowie vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF getragen. »Mit den neu geschaffenen Möglichkeiten für die Werkstoffsimulation und für die Beschichtungstechnologie im Erweiterungsbau können wir unsere Spitzenstellung auf diesen Gebieten ausbauen«, erklärte Prof. Dr. Peter Gumbsch, Institutsleiter des Fraunhofer IWM.

Bauteile der Natur nachempfunden

Grashalme, Bambusstangen, Knochen oder Zähne erreichen eine hohe Belastbarkeit bei geringem Gewicht durch raffinierte Strukturen und einen ausgeklügelten Materialmix. Um Kunststoffprodukte nach bionischen Prinzipien zu konstruieren haben Forscher des Fraunhofer IWM eine neue Simulationsmethode entwickelt: Sie bauen im Computer das komplette Werkstück entlang seiner Konturen zunächst



aus Elementarzellen auf. Diese Gitterstruktur wird anschließend virtuell getestet und gezielt angepasst bis die optimale Struktur gefunden ist. Anwendungsmöglichkeiten sind beispielsweise medizinische Orthesen oder individuell angepasste Schutzstrukturen für Sportler wie Rückenprotektoren für Schifahrer.

raimund.jaeger@iwm.fraunhofer.de

Impressum

Text: Doris Banzhaf

Grafik: Erika Hellstab

Fotos: Felizitas Gemetz, Jürgen Jeibmann, Photo-Disc, Rete Freiburg, Egbert Schmidt, Michael Spiegelhalter, 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