

Schadenstoleranz:
Die konservativen Konzepte
müssen weichen

**Bruchmechanische Bauteilbe-
wertung**
Materialmix wird berechenbar

Biologisches Gewebe analysieren
Wasserstoffspeicher für erneuer-
bare Energien

1 • 2014

Die Grenze der Belastbarkeit ist definierbar: Stärken ausreizen, Schäden tolerieren



Prof. Dr. Peter Gumbsch Prof. Dr. Ralf Wehrspohn

Liebe Leserinnen und Leser,

Konservativ und innovativ zugleich? Lassen sich diese beiden Eigenschaften vereinbaren? Wer mutig etwas wagt, entdeckt schließlich mehr als diejenigen, die alles beim Alten belassen wollen. Doch Risiken zu minimieren, ist betriebswirtschaftlich ebenso sinnvoll. Damit aus gewagten Innovationen von Anfang an sichere, zuverlässige Prozesse und Produkte werden, unterstützt das Fraunhofer IWM die Industrie mit werkstoffwissenschaftlichem Know-how.

Lebensdauerberechnungen und Versuche mit spezifischen Belastungsszenarien bringen wichtige Erkenntnisse zur Ermüdung eines Bauteils und zur Restfestigkeit eines Materials. Sie sorgen dafür, dass Ihr Risiko berechenbar bleibt. Verlässliche Fehlerbewertungen geben Ihnen und Ihren Kunden Sicherheit. Wir begleiten Ihre Innovationsfreude mit fortschrittlichen, rechnerischen Vorhersagen – damit Sie »nicht aufs falsche Pferd setzen«, wie Christoph Schweizer es im Interview auf den Seiten 2 und 3 aus-

drückt. Das gibt der Industrie die Möglichkeit die Effizienz zu steigern und an Werkstoffgrenzen zu gehen, ohne auf Sicherheit und Zuverlässigkeit zu verzichten.

Unser Fokus in diesem IWM Report liegt auf dem Thema Schadenstoleranz. »Defekte gibt es überall, sie lassen sich nicht gänzlich vermeiden. Umso wichtiger ist es, genau zu wissen, ob und wie ein Bauteil im Einsatz auch mit Defekt funktioniert und die Inspektionsintervalle daran anzupassen« erklärt Peter Gumbsch, der ab 2014 turnusgemäß wieder Sprecher der Institutsleitung ist.

Ein Zukunftsthema in diesem Report ist grüner Wasserstoff. Sachsen-Anhalt und weitere ostdeutsche Bundesländer haben

sich von Stromimporteuren Anfang der 90er Jahre zu Grünstromexporteuren gewandelt. Dieser regionale Überschussstrom soll im Rahmen des »Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany«, kurz HYPOS, in Wasserstoff und weitere chemische Energieträger umgewandelt und für grüne Produkte in der Chemischen Industrie als auch für die Wasserstoffmobilität eingesetzt werden.

Dazu wurde am 30. Oktober der HYPOS e.V. mit Sitz in Halle (Saale) gegründet. Mit 45 Millionen Euro fördert das Bundesforschungsministerium HYPOS bis 2020 im Rahmen des Zwanzig20-Programms. Das Fraunhofer IWM wird die Großanlagenindustrie hier in den vielfältigen werkstoffwissenschaftlichen Fragestellungen unterstützen, die der Energiespeicher Wasserstoff mit sich bringt. Mehr dazu lesen Sie auf Seite 4.

Eine interessante Lektüre wünschen Ihnen

P. Gumbsch

Peter Gumbsch
(Institutsleiter und Sprecher
der Institutsleitung)

R. Wehrspohn

Ralf Wehrspohn
(Institutsleiter)



Vorbeugen und nachsorgen: Bruchmechanische Bauteil- bewertung



Auch wenn wir uns das anders wünschen: Fehlerfrei kommt selten vor. Werkstoffe und Bauteile stehen so gut wie nie im Idealzustand zur Verfügung: Inhomogenitäten, Ungängen wie Poren oder andere Defekte beeinträchtigen ihre Leistungsfähigkeit.

Wer die Belastungsgrenzen eines Werkstoffs oder Bauteils kennen will, nutzt die bruchmechanischen Bewertungsverfahren am Fraunhofer IWM. Es stellt den Kunden das Werkstoffwissen in Form von Softwaretools oder gezielten, individuellen Analysen zur Verfügung. Dr. Michael Luke und seine Gruppe »Ermüdungsverhalten, Eigenspannungen« konzentriert sich auf Metalle und Kunststoff-Metall-Verbunde.

Fragen nach Lebensdauer, Gebrauchsdauer und somit auch nach sinnvollen Inspektionsintervallen werden genauso beantwortet wie Fragen nach der Schadenstoleranz. »Bei großen, sehr teuren Bauteilen, deren Herstellung bereits mehrere hunderttausend Euro kostet, lohnt es sich, den Einsatz bei begrenzter Belastung oder Dauer zu ermöglichen«, ist Michael Lukes Erfahrung. Defekte können bereits bei der Herstellung entstehen. »Wir prüfen nicht nur, ob und wie diese Fehler die Leistungsfähigkeit des Bauteils beeinflussen, sondern können meist auch Optimierungsvorschläge für den Produktionsprozess machen,« erklärt der IWM Wissenschaftler.

Mit den Software-Tools VERB, FracSafe und ERWIN bietet das Fraunhofer IWM auch Instrumente, die Firmen selbstständig für ihren Werkstoff und ihr Bauteil einsetzen können, um Einsatzzeiten abzusichern. Während VERB breit anwendbar ist, übersetzt FracSafe eine Richtlinie des Forschungskuratoriums Maschinenbau (FKM). ERWIN ist spezifisch auf Radsatzwellen von Schienenfahrzeugen ausgerichtet.

Hat ein Bauteil versagt, ermittelt das IWM mittels Mikrostruktur-, Bruchflächen- und Festigkeitsanalyse, wie der Schaden entstand und sich ausgebreitete. Dies ergibt Hinweise, um die Geometrie oder das Material eines Bauteils zu verbessern.
michael.luke@iwm.fraunhofer.de

Die konservativen Konzepte müssen weichen

Hohe und vor allem wechselnde Temperaturen setzen selbst Hartmetallen wie Stahl und Nickel zu. Wie genau, das ermittelt und beschreibt Christoph Schweizer mit seiner Gruppe »Lebensdauerkonzepte, Thermomechanik«. 13 wissenschaftliche Mitarbeiter und Techniker machen Werkstoffe für heiße Einsätze berechenbar. Im Fokus: zyklische Belastungen.



■ Kleinste Risse können tonnenschweren Bauteilen gefährlich werden: Wie geht man damit um?

Kritische Bauteile wie Flugzeugturbinen werden regelmäßig per Ultraschall auf Risse untersucht, die eigentlich gar nicht vorhanden sein sollten. Bei der Auslegung eines solchen Bauteils wird immer damit gerechnet, dass bei der zerstörungsfreien Prüfung etwas übersehen werden könnte oder das Bauteil von Beginn an einen Fertigungsfehler besitzt. Das ist auch nicht weiter schlimm, sofern sichergestellt ist, dass ein möglicher Defekt innerhalb eines Inspektionsintervalls nicht so stark wachsen kann, dass er gefährlich wird. Die Schadenstoleranz muss also erfüllt sein.

■ Warum kommen die Firmen zum Fraunhofer IWM?

Unsere Kunden wollen die Grenze, bis zu der man den Werkstoff sicher einsetzen kann, verschieben. Turbinen, zum Beispiel, sollen zukünftig möglichst wenig CO₂ verbrauchen. Dazu muss man die Gastemperaturen erhöhen. Selbst mit immer ausgefalleneren Kühlsystemen bedeutet das, dass die Materialtemperaturen weiter steigen werden. Ähnliches gilt auch für die Abgas Temperaturen in Motoren oder die Dampftemperaturen in Kraftwerken.

Wir kommen ins Spiel, weil man die Werkstoffe bis zu extremen Temperaturen wie 1 000 Grad Celsius noch gar nicht charakterisiert hat. Oder weil ein Kunde vermutet, ein neuer Werkstoff könnte für die höhere Anforderung besser geeignet sein. Gleichzeitig stellt man fest, dass die bisher sehr konservativen, empirischen Berechnungsmethoden den zukünftigen Anforderungen nicht mehr gerecht werden. Man ist gezwungen, fortschrittlichere Konzepte zu entwickeln. Wir begleiten den Kunden von der Materialcharakterisierung über die Entwicklung von fortschrittlichen Berechnungskonzepten bis zu deren Einsatz.

■ Was bedeutet »fortschrittliches Konzept«?

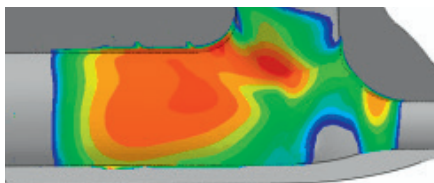
Im Unterschied zu den häufig verwendeten empirischen Modellen versuchen wir die Schädigungsmechanismen aufzudecken und in anwendbare Modelle umzusetzen. Die Schädigungsmechanismen können je nach Werkstoffklasse sehr unterschiedlich ausfallen. Gusswerkstoffe aus Eisen und Aluminium zeigen je nach Temperatur ganz andere Mechanismen als Gusswerkstoffe aus Nickel. Hat man diese Mechanismen verstanden, wird auf deren Basis ein – eben fortschrittliches – Berechnungskonzept entwickelt. Dieses Konzept erlaubt oftmals einen intuitiven Umgang mit Belastungssituationen, für die das Modell zuvor noch gar nicht ertüchtigt worden ist. Das heißt: Wir machen das Materialverhalten auch für Belastungssituationen berechenbar, die wir im Labor gar nicht abbilden konnten.

■ Wie gehen Sie konkret vor, wenn ein Kunde zu Ihnen kommt?

Nehmen wir an, wir machen zunächst Risswachstumsversuche bei uns im Labor unter isothermen Bedingungen, also bei gleichbleibender Temperatur. Die Ergebniskurven zeigen oftmals ein extrem temperaturabhängiges Risswachstum, und meistens nimmt die Risswachstumsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur zu. Im Einsatz sind diese Komponenten jedoch wechselnden Temperaturen ausgesetzt. Für welche

»

» der Kurven entscheiden Sie sich also? Konservativ wäre die Kurve mit dem schnellsten Risswachstum zu verwenden. Je nach Phasenbeziehung zwischen Temperatur und mechanischer Belastung stellt man aber experimentell fest, dass das völlig unnötig ist, weil die Belastung bei der hohen Temperatur hinreichend gering ist. Erst ein gutes Modell gibt Ihnen hierzu eine Antwort – auf der Basis genau derjenigen Schädigungsmechanismen, die bei einer solchen thermomechanischen Belastung eine Rolle spielen.



■ Lohnt sich der Aufwand?

Natürlich muss man sich die Frage stellen, wie groß am Ende das Einsparpotenzial verglichen mit den Entwicklungskosten ist. Nehmen wir den neuen Automotor, für den die Entwickler zehn mögliche Geometrien erarbeiten. Alle am Motorprüfstand zu testen, ist zu teuer. Bei zehn alternativen Motortypen käme man auf mehrere Millionen Euro an reinen Prüfkosten bei entsprechenden Wiederholungsversuchen. Deshalb wird eine erste Vorentscheidung am Rechner getroffen. Mit den drei Motoren,

die am besten abschneiden, geht man auf die Motorprüfstände.

Interessant wird es für den Kunden auch, wenn sich die Restlebensdauer von Komponenten mit rechnerischer Unterstützung erhöhen lässt. Der Austausch einer einzelnen Komponente in einem Kraftwerk bedeutet unter Umständen, dass ein ganzer Block des Kraftwerks stillgelegt werden muss. Solche Stillstandzeiten sind für den Betreiber sehr teuer. Außerdem handelt es sich bei solchen Komponenten oftmals um Unikate, deren Fertigungskosten entsprechend hoch sind. Da lohnt es sich auch mal ein bisschen länger nachzudenken, ob man ein Bauteil ausbaut oder noch ein Jahr im Betrieb lassen kann.

■ Woher kommen Ihre Auftraggeber?

Der Hochtemperaturbereich ist geprägt von drei Branchen: Energiesektor, Automobil- und Fluggasturbinenbau, dazu kommen die Materialzulieferer. Potenzielle Neukunden sind auch bei den erneuerbaren Energien, z.B. den Herstellern solarthermischer Kraftwerke, zu finden.

Es sind unterschiedliche Welten: Bei Kraftwerken und Turbinen denkt man in Entwicklungszeiträumen von zehn Jahren, manchmal länger. Bei der Automobilindustrie dagegen ist Schnelligkeit gefordert.

Der neue Motor muss einfach funktionieren. Aufgrund der hohen Stückzahlen will man aber unbedingt Ausfälle verhindern, und auch jeder eingesparte Cent bei den Herstellungskosten lohnt sich.

■ Wie hoch ist der Zeitdruck?

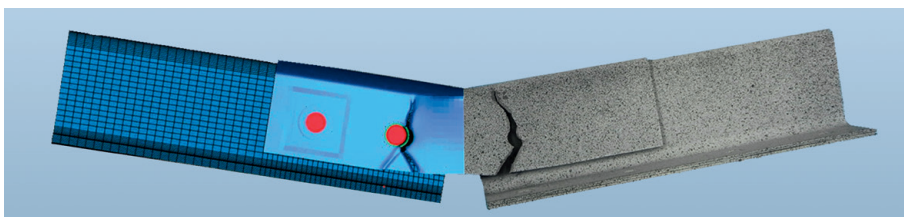
Automobilisten wollen die Ergebnisse oftmals innerhalb weniger Monate, was an den kurzen Entwicklungszyklen liegt. Mit manchen Unternehmen arbeiten wir aber auch über mehrere Jahre kontinuierlich zusammen. Eine langfristige Zusammenarbeit bringt den Firmen aus unserer Sicht deutlich mehr.

■ Was ist der Vorteil einer langfristigen Zusammenarbeit?

Je früher wir wissen, wo die Reise hingehen soll, umso spezifischer können wir auf die Bedürfnisse der Kunden eingehen und unsere Ressourcen einplanen. Ideal ist es, wenn der Kunde versucht, die von uns erzielten Ergebnisse während der Projektlaufzeit schrittweise nachzuvollziehen und umzusetzen. Ein gutes Modell alleine generiert keinen Wettbewerbsvorteil, so lange man mit dessen Anwendung nicht ausreichend vertraut ist. Dieser Aspekt wird bei den immer komplexer werdenden Werkstoffmodellen immer wichtiger. Hier lohnt es sich aus unserer Sicht doppelt Zeit einzuplanen.

christoph.schweizer@iwf.fraunhofer.de

Leichtbau und Fügeverbindungen: Bunter Materialmix wird berechenbar



Es ist ein bunter Strauß an Materialien, aus dem sich heute die Karosserie eines Autos zusammensetzt: hochfester Stahl, Aluminium- und Magnesiumlegierungen, kohle-, glas- oder naturfaserverstärkte Verbundmaterialien. »Alle diese Materialien müssen miteinander zu einer Karosserie, zur tragenden Struktur, verbunden werden«, erläutert Silke Sommer, Gruppenleiterin am Fraunhofer IWM in Freiburg. Ihr Team macht das Verhalten der Fügeverbindungen unter Crashbelastung berechenbar. Flugzeug- und Fahrzeughersteller wollen wissen: Welche Verbindung hat die größte Schadenstoleranz?

Das Zusammenfügen ist eine Herausforderung: Mal wird genietet, mal geschraubt, geclincht oder geschweißt, und fast immer wird zusätzlich Klebstoff eingesetzt. Die Ergebnisse aus Versuchen an einzelnen Fügeverbindungen speist das Fraunhofer IWM in Rechenmodelle ein. Diese werden am Ende eingesetzt, um den Seitencrash eines kompletten Autos oder den Aufprall eines Vogels auf ein Flugzeug zu simulieren.

Prozesssimulationen lassen auch Rückschlüsse auf den Fügeprozess selbst zu: Wie bilden sich genietete Verbindungen bei mehr und weniger Stempelkraft aus?

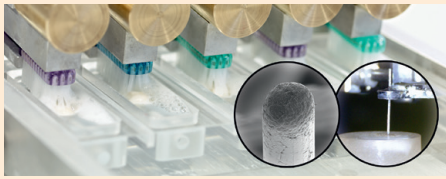
Wie beeinflusst mehr oder weniger Strom oder variable Spanntechnik den Verzug und die Eigenspannungen beim Schweißen?

»Oft ist weniger mehr«, betont Silke Sommer. Das Ziel: Das Bauteil soll noch höhere Kräfte ertragen und mehr Energie im Crash absorbieren oder seine Lebensdauer erhöhen.

»Derzeit entwickeln wir in einem Projekt Modelle für mehrere mögliche Fügeverbindungen – bei unterschiedlichen Materialgütern und -stärken«, berichtet Sommer. Der Kunde wird sie für seine zukünftigen Entwicklungen nutzen – zunächst ohne Hardware. In öffentlich geförderten Projekten mit mehreren Industriepartnern werden gemeinsam Grundsatzfragen untersucht. Auf diesen Grundlagen formt die Industrie verschiedene Werkstoffe mit sicheren Fügeverbindungen zu einem Produkt, das leichter, schneller, kraftstoffsparender und dennoch sicher unterwegs ist.

silke.sommer@iwf.fraunhofer.de

Material- und Produktanalysen für biologisches Gewebe



Aufwändige klinische Studien untersuchen, ob eine Creme hautverträglich ist, eine Zahnpasta den Zahnschmelz stärkt oder schädigt und ein Shampoo die Haarstruktur verbessert. Künftig sollen werkstoffmechanische Untersuchungen bereits im Vorfeld Optimierungen erlauben. Mechanismen in Mikrostrukturen aufzuklären, ist traditionell eine Expertise des Fraunhofer IWM – beispielsweise, wenn es gilt neue Materialien der Mikroelektronik zu charakterisieren, oder in der Mikrotribologie feinste Reibungsmechanismen im Motor zu analysieren.

In der Mund- und Zahnpflege hat die Gruppe unter Leitung von Dr. Andreas Kiesow im Geschäftsfeld »Biologische und makromolekulare Materialien« am Fraunhofer IWM in Halle schon häufig werkstoffmechanische Fragen beantwortet: Ob und wie wirken fluoridierte Zahnpasten oder Mundspüllösungen auf Zähne? Wie ist die Mikrostruktur von Zähnen, Dentalprothesen oder auch Knirscherschienen im Einsatz, vor und nach Pflege und Reinigung? Die Reinigungsprozesse, etwa das Zusammenspiel von Borstenspitze, Zahn oder Prothese und dem Reinigungsmedium, lassen sich mikrotribologisch analysieren.

Diese Mechanismen aufzuklären, betont Dr. Andreas Kiesow, biete für Medizin und Kosmetikindustrie nicht nur im Dentalbereich, sondern auch für Haare, Nägel und Haut neue Möglichkeiten. Erste Kosmetikerhersteller sind bereits eingestiegen: Mit Hilfe hochsensitiver chemischer Oberflächenanalytik lässt sich zum Beispiel ermitteln, ob und wie Wirkstoffe aus einem Shampoo in Haare eingelagert werden. Aufbauten erlauben die Simulation der Wechselwirkungen zwischen Cremes und Gewebe oder auch eines Bürstprozesses mit behandelten und unbehandelten Haaren. Die Analyse natürlicher Gewebeproben ist im so genannten »environmental scanning electron microscope« möglich. »Die sehr plastischen Informationen aus dem Elektronenmikroskop können außerdem dazu beitragen, Wirkmechanismen weiter aufzuklären und die Qualität eines Pflegeprodukts zu optimieren.«

andreas.kiesow@iwmh.fraunhofer.de

HYPOS: Wasserstoffspeicher für erneuerbare Energien

Wächst der Anteil erneuerbarer Energien, bedeutet dies auch mehr Wetterabhängigkeit: Mal weht der Wind kräftig, mal scheint die Sonne, mal nicht. Doch die Stromnetze in Deutschland sollen Industrie und Haushalte stets stabil und bedarfsgerecht mit Elektrizität versorgen. Die Lösung des Konsortiums »Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany«, kurz HYPOS: Überschüssige Energie aus Photovoltaik und Windparks wird zur Elektrolyse genutzt und so gespeichert – aus Wasser wird »grüner« Wasserstoff hergestellt. Dieser wird dann bedarfsgerecht als Alternative zu Erdgas, an Tankstellen und für Brennstoffzellen bereitgestellt. Mit 45 Millionen Euro fördert das Bundesforschungsministerium HYPOS bis 2020. Die Umsetzung soll über die Chemische Industrie in Leuna und Böhlen erfolgen. Das Projekt wird von Prof. Ralf Wehrspohn, dem Institutsleiter des Fraunhofer IWM in Halle, koordiniert.

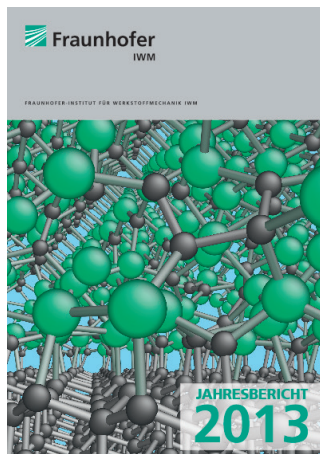
Das Fraunhofer IWM unterstützt die Großanlagenindustrie in werkstoffwissenschaftlichen Fragen. Diese wirft HYPOS zuhause auf: Da Wasserstoff in Salzkavernen gespeichert und in Pipelines verteilt werden soll, die auch für den Transport anderer Gase genutzt werden, müssen die Tank- und Rohrmaterialien für die neue Beanspruchung durch korrosive Gasgemische und die Versprödung durch Wasserstoff

qualifiziert werden. »Vorschädigungen, die z.B. in Pipelines bei Erdgasbetrieb bedeutungslos sind, können durch die Beimischung von Wasserstoff kritisch werden,« erklärt Fraunhofer IWM-Geschäftsfeldleiter Dr. Wulf Pfeiffer. An Prüfständen soll die kombinierte mechanisch-korrosive Beanspruchung untersucht werden. Extrem hohe Drücke bis 1300 bar werden dabei realisiert: Solche Drücke sollen die Speicherkapazität von Wasserstoff-Drucktanks, die bislang bis 700 bar betrieben werden, erhöhen. Gemeinsam mit seinen Partnern wird das Fraunhofer IWM aber auch die Zuverlässigkeit der für die Stromumwandlung einzusetzenden elektrochemischen Energiewandler sowie der Leistungselektronik charakterisieren und optimieren, so Prof. Matthias Petzold vom Fraunhofer IWM. Darüber hinaus plant das IWM, zur Weiterentwicklung und Qualifizierung der benötigten Wasserstoffsensoren beizutragen.

Das Fraunhofer-Zentrum für Silizium-Photovoltaik CSP arbeitet dagegen an der Konzeption, Modul- und Komponentenentwicklung von zwei kombinierten Wind-Solar-Parks in Leuna und Böhlen mit, die für die energetische Grundlast der Elektrolyse sorgen sollen, erläutert CSP-Leiter Prof. Jörg Bagdahn.

ralf.wehrspohn@iwmh.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM Jahresbericht 2013 erschienen



Kostenlos Anfordern bei
info@iwm.fraunhofer.de
oder als PDF herunterladen:
www.iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM

Das Fraunhofer IWM ist Ansprechpartner für die Industrie und für öffentliche Auftraggeber im Bereich der Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität von Bauteilen und Systemen. Wir helfen Ihnen, die Eigenschaften von Werkstoffen und Bauteilen für die im Einsatz auftretenden Belastungen und die geforderten Funktionen optimal einzustellen, und entwickeln innovative Fertigungsschritte.

Impressum

Text: Doris Banzhaf, Grafik: Erika Hellstab
Fotos: Alex Jung, S.K.U.B. Fotostudio, 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