

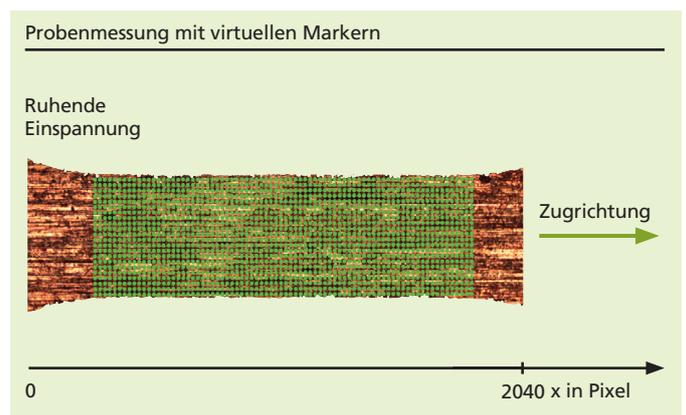
# LOKALE MECHANISCHE EIGENSCHAFTSBESTIMMUNG

Prof. Dr. Chris Eberl | Telefon +49 761 5142-495 | [chris.eberl@iwm.fraunhofer.de](mailto:chris.eberl@iwm.fraunhofer.de)

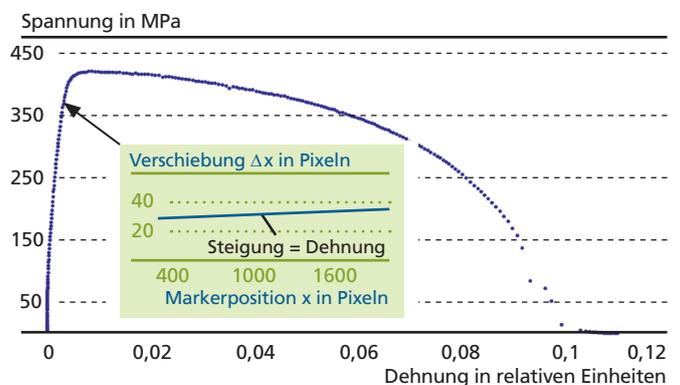
Ein umfassendes Verständnis von Materialverhalten unter mechanischer Belastung ist unabdingbar, um Materialien bis an ihre Grenzen belasten zu können und sie somit effizient und zuverlässig einzusetzen. Hierfür müssen komplexe Materialmodelle entwickelt werden, welche das lokale mikrostrukturelle Verhalten möglichst gut abbilden. Dieses lokale Materialverhalten kann häufig nur durch Untersuchungen an Mikroproben mit Abmessungen von einigen zehn oder hundert Mikrometern ermittelt werden, beispielsweise um die Tiefenabhängigkeit von Eigenschaften in gehärteten Zonen oder in Schweißverbindungen zu bestimmen. Daher stehen in der Gruppe Meso- und Mikromechanik zahlreiche selbstentwickelte Messapparaturen für quasistatische und zyklische Materialtests an Mikroproben zur Verfügung, bei denen berührungslose optische Dehnungsmessungen verwendet werden.

## Echtzeit-Dehnungsmessung bei dynamischen Versuchen

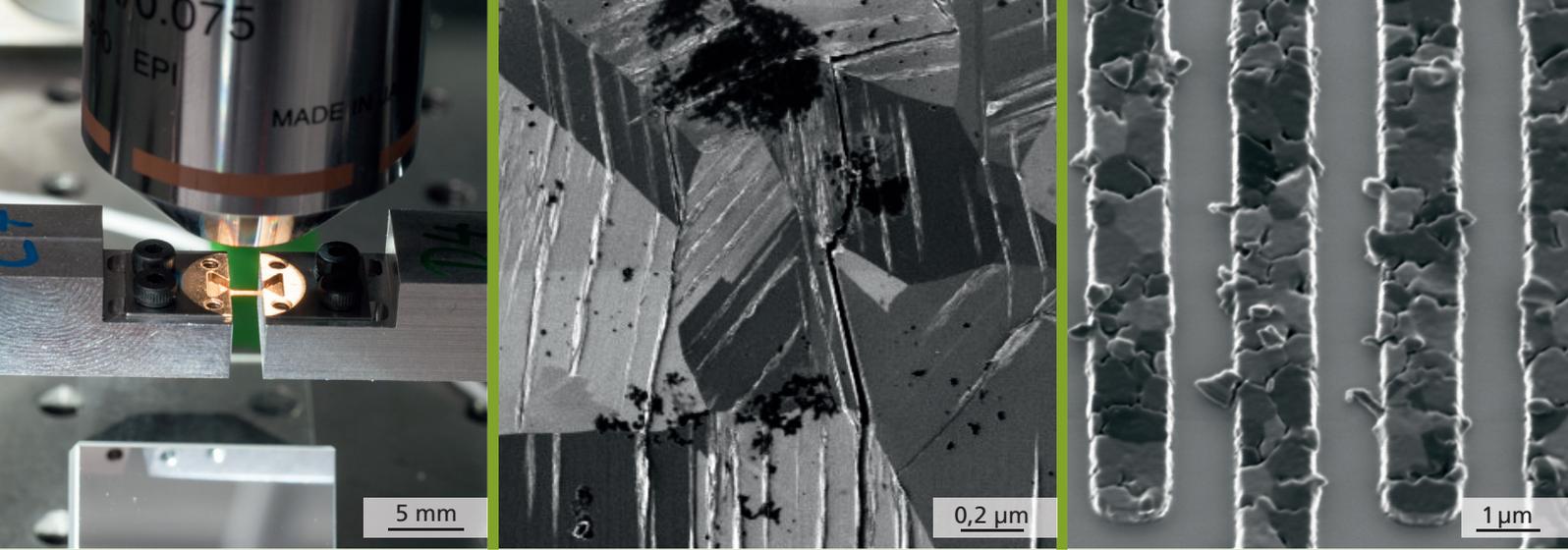
Um dehnungskontrollierte sinusförmige Ermüdungsversuche bei Frequenzen von 1 bis 100 Hz durchzuführen, müssen Verschiebungen im kHz-Bereich gemessen werden. Mithilfe von Echtzeitalgorithmen werden daraus Dehnungen berechnet, die in die Regelungssysteme von Ermüdungsapparaturen eingehen. Daher wurde ein Softwareprogramm mit LabView entwickelt, mit dem die Bewegung von Helligkeitsmarkern auf dunklem Hintergrund verfolgt werden kann. Dabei wird der Intensitätsschwerpunkt eines Bildausschnitts iterativ berechnet. Um das Programm zu validieren, wurde eine dunkle Probe mit aufgetragenen Helligkeitsmarkern unter einem Mikroskop mit angeschlossener Digitalkamera bewegt. Die Positionen der Helligkeitsmarker konnten erfolgreich in x- und y-Richtung



1 Zugversuch an einer Cu OFHC Mikroprobe (200 µm dick) mit Dehnungsmessung durch Bildkorrelation: Messung der Verschiebung von virtuellen Markern.



2 Spannungs-Dehnungs-Diagramm beim Zugversuch an einer Cu OFHC Mikroprobe (200 µm dick); die Dehnung als Steigung einer Interpolationsgeraden, entstanden durch die Verschiebung der virtuellen Marker.



*Zugprobe in Mikroermüdungsapparatur (links), Ermüdungsschädigung: Extrusionen und Risse in einer Nickelprobe (Mitte), geschädigte Leiterbahnen eines SAW-(surface acoustic wave-)Bauteils (rechts).*

verfolgt werden. Somit sind die Grundlagen erarbeitet, um die Dehnung einer Probe anhand der Verschiebung zweier Helligkeitsmarker in Echtzeit bestimmen zu können.

### **Optische Dehnungsmessung unter quasistatischen Bedingungen**

Die Bildkorrelation kommt im Rahmen des EU-Projekts iStress zum Einsatz, um Dehnungen nach der Durchführung eines Experiments zu berechnen. Während des Versuchs werden Bilder einer sich verformenden Probe aufgenommen. Auf dem ersten Bild werden nachträglich zahlreiche Ausschnitte auf der Probe bestimmt (virtuelle Marker), deren Positionen von Bild zu Bild verfolgt werden, um ein Verschiebungsfeld und somit die auftretenden Dehnungen zu ermitteln. Nach einem Zugversuch kann beispielsweise für jedes aufgenommene Bild die Dehnung in Zugrichtung ermittelt werden. Hierfür werden die Verschiebungen aller virtuellen Marker über ihre Anfangsposition aufgetragen und linear interpoliert. Die Steigung der Interpolationsgeraden entspricht der Dehnung, ähnlich wie sie mit einem Extensiometer gemessen würde (Abbildung 2). Ein Schwerpunkt von iStress ist die Messung von eigenspannungsinduzierten Dehnungen im Rasterelektronenmikroskop durch Materialabtrag mit einem fokussierten Ionenstrahl.

### **Prozessoptimierung**

Das Fundament für gute Dehnungsmessergebnisse ist eine qualitativ hochwertige Bilderfassung. Im Rasterelektronenmikroskop hängt diese von zahlreichen Einstellparametern ab, die durch Methoden der Prozessoptimierung angepasst werden. Das Themenfeld der Prozessoptimierung (gefördert durch das Fraunhofer TALENTA-Programm) umfasst hochdimensionale

Optimierungsaufgaben aus Material- und Ingenieurwissenschaften, die mit Methoden der Informatik und Mathematik gelöst werden. Dazu gehören Fragestellungen zu Modellierung und Regelung von Produktionsprozessen, die aufgrund ihrer Komplexität nur durch Approximationsmodelle (wie neuronale Netze) beschrieben werden können. Die daraus gewonnene Kenntnis der Zusammenhänge von Einflussgrößen und Ergebnis ermöglicht das gezielte Eingreifen in den laufenden Prozess für das aktuell bearbeitete Bauteil (Regelung) sowie die Anpassung des Prozesses für weitere Bauteile (Prozessverbesserung). Die Prozessoptimierung lässt sich auf zahlreiche interdisziplinäre Fragestellungen anwenden. Laufende und geplante Projekte am Fraunhofer IWM sind eine Optimierung der Modellparameter bei komplexen Langzeitermüdungsversuchen, statistische Versuchsplanung bei Fügeprozessen für Vakuumisoliervlas-Systeme sowie Fehlerabschätzungen bei atomistischen Simulationen.

Dr. Melanie Senn, Dr. Tobias Kennerknecht