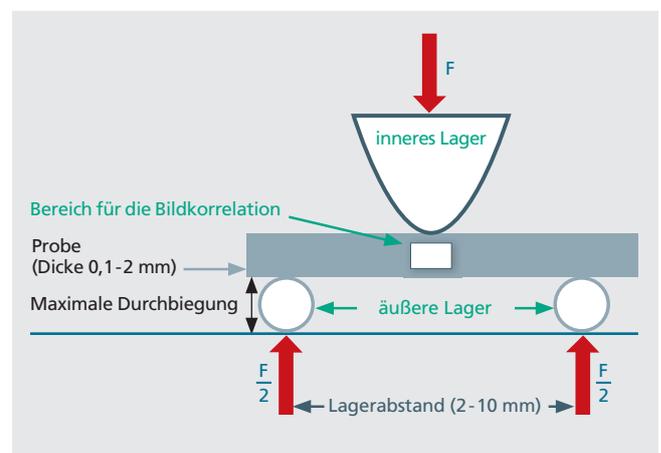


## MECHANISCHE PRÄZISIONSMESSUNG AN MIKRO-PROBEN MITTELS DREI- UND VIERPUNKTBIEGUNG

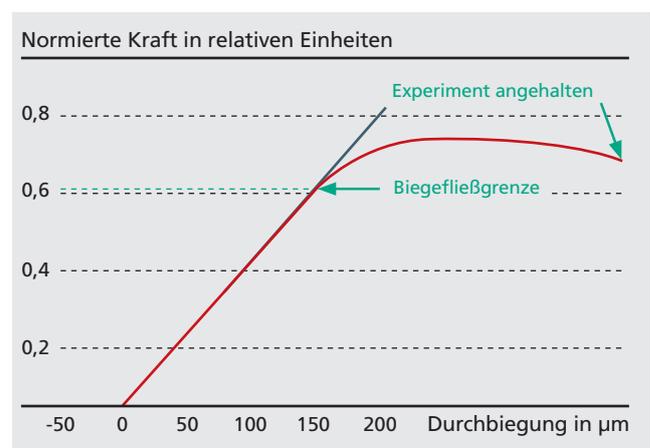
Die Gruppe »Meso- und Mikromechanik« untersucht mechanische Eigenschaften von Materialien und Bauteilen in Mikro-Größenskalen und in den für die Anwendung relevanten Belastungsarten: Ein prominentes Beispiel für Mikrobauteile sind mechanische Uhren, deren Präzision sehr stark von der Kenntnis der mechanischen Eigenschaften abhängt. Auch in Automobilen gibt es sehr viele mechanisch belastete Bauteile, deren Abmessungen von einigen 10  $\mu\text{m}$  bis zu wenigen Millimetern reichen – seien es elektrische Kontaktierungen oder dünne Bleche. Selbst bei großen Bauteilen ist der mechanisch kritische Volumenbereich häufig sehr klein, zum Beispiel an Schweißnähten oder bei Beschichtungen, und kann sich in seinen Werkstoffeigenschaften von denen des gesamten Bauteils unterscheiden.

Eine Messtechnik, die unsere Gruppe im Laufe des letzten Jahres stark erweitert hat, ist die Untersuchung von Mikroproben mittels Drei- und Vierpunktbiegung. Die Durchführung von Biegeexperimenten an Mikroproben stellt höchste Anforderungen an die Prozessführung, da viele Parameter die Ergebnisse in kubischer Ordnung beeinflussen. Der große Mehrwert der Methode gegenüber Zugversuchen ist eine signifikant höhere Empfindlichkeit für Einflüsse von der Probenoberfläche und von Gradienten im Material, was von entscheidender Bedeutung für Mikrobauteile ist, die in der Anwendung auf Biegung beansprucht werden.

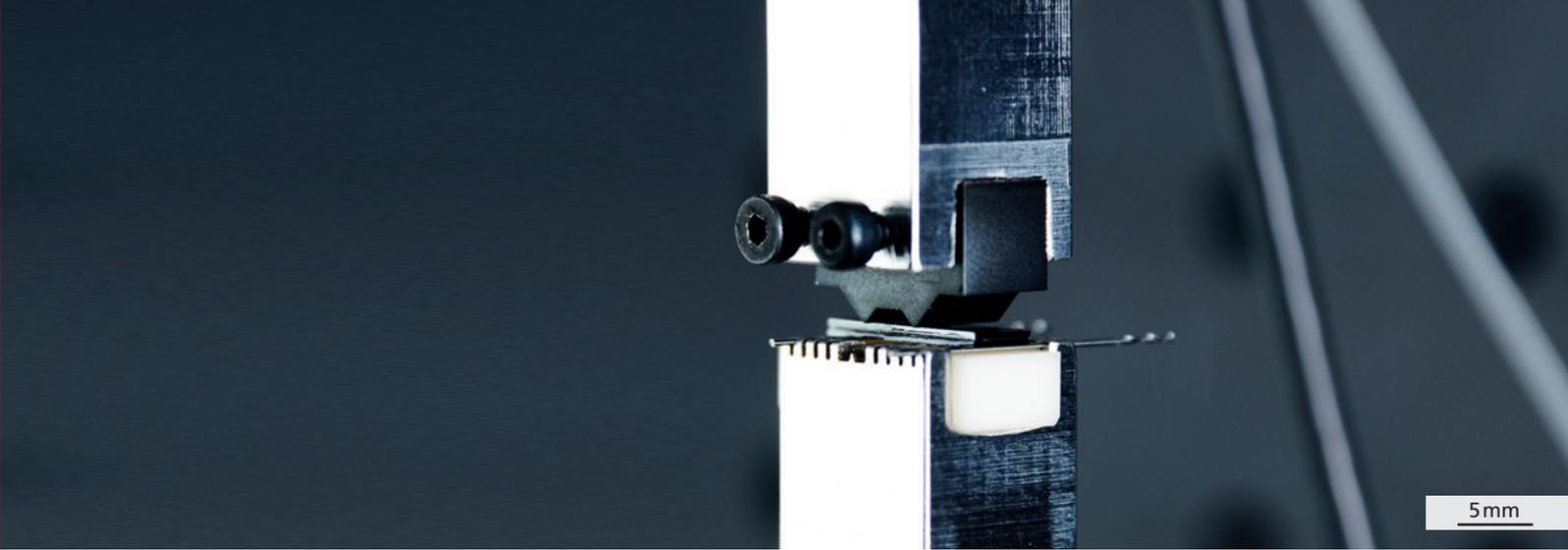
Unsere praxisnahen Versuchsaufbauten ermöglichen sowohl die Bestimmung des E-Moduls, der Fließgrenze und weiterer Materialkenngrößen über quasistatische Biegeversuche als auch die zyklische Ermüdung bei Frequenzen von bis zu 100 Hz. Werden höhere Frequenzen benötigt, sind zudem spezielle Resonanzmessapparaturen verfügbar.



1 Schema eines Dreipunktbiegeversuchs. Über eine digitale Bildkorrelation an Strukturen im grünen Feld kann die Durchbiegung ermittelt werden.



2 Last-Weg-Kurve eines Dreipunktbiegeversuchs an einer metallischen Probe. Ermittelt wurden der E-Modul (blaue Linie) sowie die Fließgrenze (grün gestrichelte Linie).



3 Foto einer Mikrobiegeapparatur. Es können Drei- und Vierpunktbiegeexperimente mit variablen Lagerabständen realisiert werden.

### Größen- und Skalierungseffekte bei Mikrobiegeproben

In einem aktuellen Industrieprojekt ging es darum, den E-Modul von galvanisch hergestellten Mikroproben unterschiedlicher Abmessungen mittels Zugversuchen und Dreipunktbiegeversuchen zu ermitteln und parallel die Mikrostruktur abzubilden. Der Probenquerschnitt reichte von 50 x 200 µm bei den kleinsten Biegebalken bis zu 500 x 200 µm bei den größten Zugproben.

Bedingt durch den Herstellungsprozess können bei galvanisch abgeschiedenen Bauteilen je nach Bauteilabmessung unterschiedliche Legierungseffekte auftreten, die wiederum die Mikrostruktur und die Materialeigenschaften beeinflussen. Zudem verändert sich das Verhältnis der Oberfläche zum Volumen der Probe signifikant, sodass deren Einfluss auf das Verhalten der Probe zunimmt, wenn die Probendimension abnimmt.

### Spezialentwicklung Mikrobiegeapparatur

Für die Biegeversuche an Mikroproben wird eine unserer selbst entwickelten Biegeapparaturen eingesetzt: Eine flexible Lageraufnahme (Abbildung 3) ermöglicht die Durchführung von Drei- und Vierpunktbiegeversuchen mit einem äußeren Lagerabstand von 2 bis 10 mm (Abbildung 1). Die Aufbringung der Last erfolgt über einen Piezoaktuator (Schrittauflösung: 1,2 nm), der für größere Bewegungen von einem Linearmotor unterstützt wird. Für die Kraftaufnahme stehen Kraftmesszellen mit Messbereichen von 2 bis 200 N zur Verfügung. Über ein Kamerasystem können zudem Bilder während des Versuches aufgenommen werden, die mithilfe eines speziell programmierten digitalen Bildkorrelationsverfahrens (Auflösung: 10 nm) eine hoch präzise Bestimmung

der Durchbiegung ermöglichen. Aus der Messung der von der Mikroprobe aufgenommenen Kraft und deren Durchbiegung können mit Kenntnis der Probengeometrie und des Abstands der äußeren Lager der E-Modul und die Fließgrenze ermittelt werden (Abbildung 2).

### Mikrobiegeversuche als essenzielles Werkzeug zur Bestimmung der Materialkenngrößen

Die Durchführung von sowohl quasistatischen als auch zyklischen Mikrobiegeversuchen hat sich als wertvolle Ergänzung zu den schon bewährten Mikrozugversuchen erwiesen. Die bei Mikrobauteilen ohnehin schon großen Einflüsse der Oberflächenbeschaffenheit und der Eigenschaften in der oberflächennahen Materialzone spielen unter einer Biegebeanspruchung eine noch größere Rolle, da die maximale Belastung genau dort auftritt. Die Durchführung von Biegeexperimenten ermöglicht es, gerade diese Einflüsse zu untersuchen und zu bewerten. So können wir unseren Kunden die zur Mikrobauteilauslegung notwendigen Materialkenngrößen bereitstellen. In einem zukünftigen Projekt erarbeitet die Gruppe gemeinsam mit einem Verbund von Industriepartnern einen Standard zur mikromechanischen Prüfung von metallischen Werkstoffen. In diesem geht es speziell darum, mikromechanische Aspekte zu adressieren, die in den aus dem Makroskopischen bekannten Normen nicht behandelt werden.

Felix Schiebel, Dr. Thomas Straub