

Kräfte messen im Mikrobereich

Die Auftriebskraft einer Fruchtfliege ist unvorstellbar klein. Dennoch existieren Sensoren, um solch kleine Kräfte im Bereich von Mikronewton zu bestimmen. Bis heute ist aber eine rückführbare Kalibrierung dieser Sensoren nicht möglich. Mit einem neuen System kalibriert das METAS jetzt Mikrokräftensensoren rückführbar – davon profitiert die Mikro- und Nanotechnologie.

STEFAN RUSSI UND MANUEL AESCHBACHER

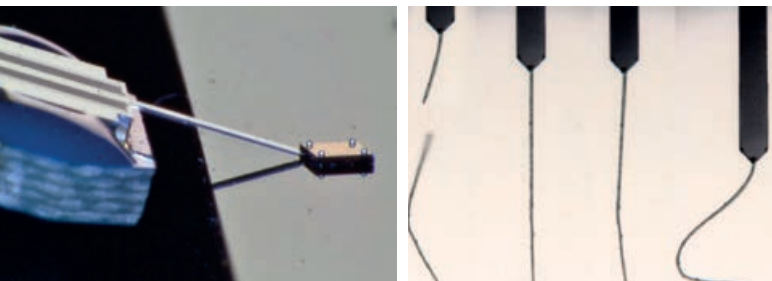
Welcher Kraft hält eine Mikrofaser stand, bevor sie reisst? Wie gross ist die Haft- und Gleitreibung von Objekten, die knapp einen Kubikmillimeter klein sind? Solche Fragen interessieren Wissenschaftlerinnen und Ingenieure aus den Bereichen Robotik, Biologie und den klassischen mechanisch-elektronischen Gebieten. Die Kräfte kann man abschätzen, aber wie gross sie wirklich sind, ist ohne rückführbarer Messung nicht beantwortet. Fortschritt verlangt nach Genauigkeit und vor allem Vergleichbarkeit, damit aus der Mikro- und Nanotechnologie neue Produkte entstehen können.

Wie die Sensoren funktionieren

Viele Sensoren, die Kleinstkräfte messen, reagieren sowohl auf Zug als auch auf Kompression. Das meist verbreitete Prinzip beruht auf den Veränderungen der elektrischen Kapazität. Zwei Kämme, die ineinander liegen und mittels Biegefedern gehalten werden, bewirken beim Verschieben eine Veränderung der Kapazität. Eine Auslenkung von ein paar wenigen Mikrometern genügt, um die Kapazitätsunterschiede in ein Signal zu verwandeln.



2: Die zu kalibrierenden Sensoren haben etwa die Grösse einer Fingerspitze. Die vergrösserte REM-Aufnahme (links) zeigt die 50 µm dünne Kammstruktur aus Silizium.



1: Mikrokräftensensoren werden in Forschung und Entwicklung sowie in der MEMS-Industrie (Micro-Electro-Mechanical-Systems) eingesetzt. Diese Sensoren dienen der Qualitätskontrolle kleinster mechanischer Architekturen, messen Haft-Kraft einer Mikrostruktur (links) oder die Zugkraft einer Silica-Mikrofaser.

Problem: Nicht rückführbar

Obwohl der Anwendungsbereich von Mikrokräftensensoren sehr breit ist und interdisziplinäre Mikro- und Nano-Technologien seit Jahren wichtiger werden, gibt es bis heute keine Möglichkeit, Kräftensensoren unter einem Millinewton (mN) zu kalibrieren. Heute verlangt der Markt nicht nur Sensoren, die Kleinstkräfte messen können, sie sollen das auch mit der kleinstmöglichen Messunsicherheit tun. Aber vor allem müssen sie rückführbar sein, damit Unabhängigkeit gegenüber Langzeitphänomenen oder Produkttypen besteht.

Im Rahmen eines KTI-Projektes entwickelte das Labor *Masse, Kraft und Druck* ein Messsystem, mit dem ambitionierten Ziel, rückführbare Kalibrierungen von Kräftensensoren im Bereich 100 nN bis 10 mN durchzuführen.

Herausforderungen auf dem Weg zum Messplatz

Die Kraft-Einheit Newton (Kraft = Masse mal Beschleunigung [$N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$]) ist auf die Masse [kg], die Länge [m] und die Zeit [s] rückführbar.

Dementsprechend misst eine Hochpräzisionswaage die Masse, während ein Absolut-Gravimeter das lokale Schwerfeld bestimmt. Diese zwei Hauptkomponenten verbinden die Grundidee: Kraft-Sensor auf die Waage drücken und den angegebenen Wert mit der Schwerkraft multiplizieren. Das Prinzip ist einfach, die Praxis mit Bauteilen im Submillimeterbereich und der geforderten Genauigkeit herausfordernd: Ein Drei-Achsen-Roboter richtet den Sensor auf die Waage aus. Der Vorgang entzieht sich dem menschlichen Auge und wird deshalb von zwei Mikroskopkameras computergesteuert und überwacht. Die eingesetzte Nanostage hat einen Bewegungsbe- reich von 30 µm und eine Auflösung von 0.06 nm. Verschiedene mechanische Teile wurden dazu von der Werkstatt des METAS mit hoher Präzision angefertigt. Das Herzstück des Messplatzes ist eine Präzisionswaage von Mettler Toledo (modifizierte Version der XP6U) mit einem Wägebereich von 6 g und einer Auflösung von 0.1 µg, was einer Auflösung von ca. 1 nN entspricht.

Wie die Kalibrierung funktioniert

Nachdem der Mikrokräftensensor in einer Halterung montiert ist, beginnt die Ausrichtung. Der Ausrichtungswinkel des Sensors wird mittels Mikroskopkamera und LabView-Algorithmen bestimmt und so lange eingestellt, bis die Richtung des Sensors gegenüber der Wägeachse parallel ist. Da der Kontaktpunkt optisch nicht mehr ermittelt werden kann, verläuft dieser An- näherungsprozess automatisch.

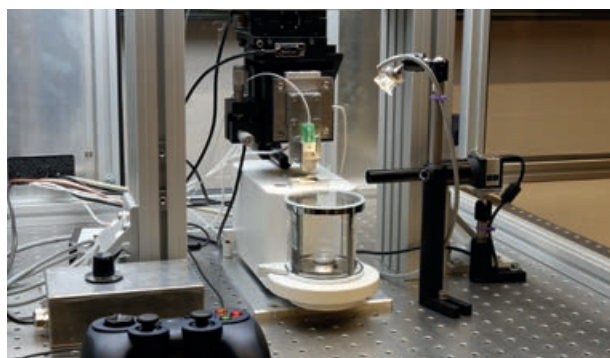
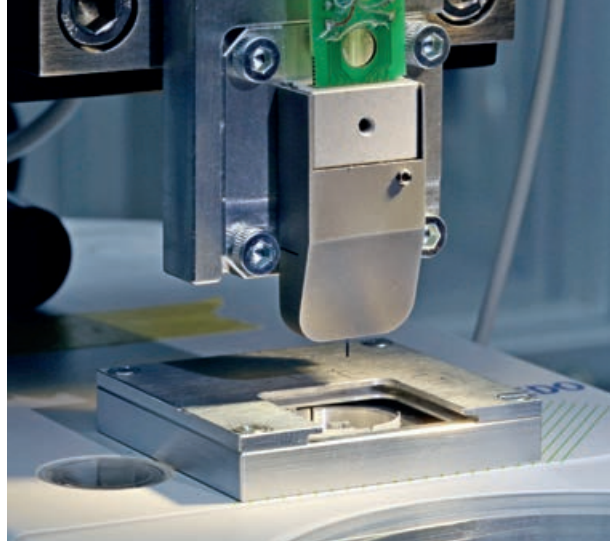
Erst jetzt startet der Messvorgang. Die durch den Benutzer vordefinierten Kraftmesspunkte werden mittels einer PID-Regelung angefahren. Ist dieser Punkt erreicht, wird über eine definierte Zeit gemessen. Am Ende der Messung entsteht ein Protokoll mit den Resultaten und den dazugehörigen Mes- sungsunsicherheiten: Die Grundlage für das Zertifikat des rückführ- bar kalibrierten Sensors.

Ein Messplatz und seine Grenzen

Beim Wiegen legt man üblicherweise einen Prüfling auf die Waagschale und misst. Beim Einsatz der hochempfindlichen Waage, um die Kraft zu bestimmen, ist dies nicht ganz so ein- fach. Weil die Steifigkeit für diese spezifische Anwendung an diesem Punkt nicht optimal ist, wurde die Waage deshalb vom Hersteller umgebaut. So findet die Krafteinwirkung möglichst nahe an der Wägezelle statt. Damit die Waage als Primärnor- mal verwendet werden kann, musste sie charakterisiert und die Messunsicherheiten bestimmt werden.

Sensor	200 µN	2000 µN	20 mN
Wiederholbarkeit (%)	0.15	0.21	0.11
Messunsicherheit (%)	0.3	0.26	0.25

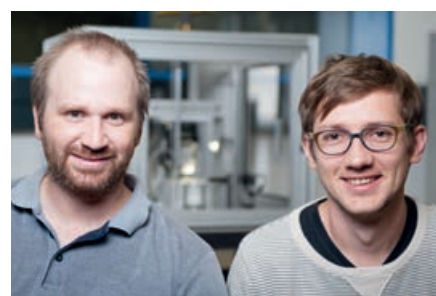
Die geforderte Unsicherheit, kleiner ein Prozent (1 %), konnte mit dem System in dem vorgesehenen Bereich von 100 µN bis 10 mN erreicht und unterschritten werden. Dazu wurden verschiedene Sensoren gemessen.



3: Der Messplatz steht auf einem optischen Tisch. Die Brücke für den Drei-Achsen-Roboter sowie das Gehäuse, welches als Windschutz dient, besteht aus Aluminiumprofilen. Das Herzstück des Messplatzes ist eine hochgenaue Waage, die nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraft- kompensation funktioniert.

Rückführbar an der Grenze des Machbaren

Mit dem Bau der rückführbaren Kalibrieranlage für Kleinstkräf- te hat das METAS gezeigt, dass es mit der technologischen Entwicklung aus der Mikro- und Nanotechnologie schritthal- ten kann. Eine metrologische Dienstleistung für zukünftige Anwendungen aus Robotik, Medizin und mechanisch-elektron- ischen Gebieten, wo rückführbare Messungen eine wichtige Rolle spielen werden.



Kontakt:
Stefan Russi
Labor Masse, Kraft und Druck
stefan.russi@metas.ch
+41 58 387 07 20

Manuel Aeschbacher
Labor Masse, Kraft und Druck
manuel.aeschbacher@metas.ch
+41 58 387 08 28