

Groß und dennoch hochpräzise

DIE FERTIGUNG MIKROOPTISCHER KOMPONENTEN MITTELS MAKRO-MIKRO-MANIPULATION

Sowohl in der Industrie als auch in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens ist eine immer fortschreitende Miniaturisierung von elektrischen, optischen und mechanischen Systemen erkennbar. Wissenschaftler vom Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) arbeiten an einem Makro-Mikro-Manipulator, der eine Fertigung und Montage von Komponenten im mikroskopischen Bereich möglich macht.

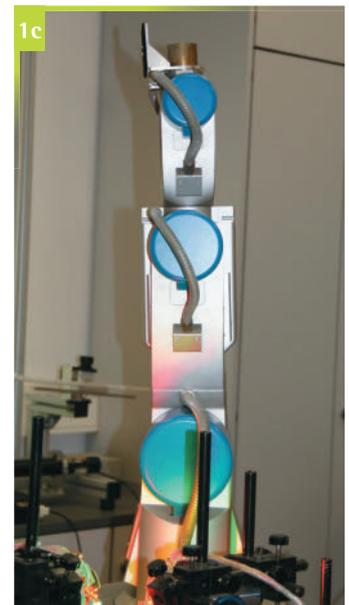


Als ein bekanntes Beispiel für eine fortschreitende Miniaturisierung sind Smartphones zu nennen. Die darin verbauten elektrischen und optischen Komponenten (wie etwa Prozessor und Kamera) werden stetig kleiner, um entweder die Geräte selbst zu verkleinern oder mehr Bauteile in einem Gehäuse unterzubringen. Durch diese zunehmende Miniaturisierung entstehen zwangsläufig eine Reihe an Herausforderungen in der Fertigung der dazugehörigen Komponenten und der anschließenden Endmontage. Industrielle Roboterarme, wie sie zum Beispiel heutzutage vermehrt in der Automobilindustrie eingesetzt werden, können die geforderte Präzision in der Fertigung von



solch mikroskopischen Bauteilen nicht mit ausreichender Güte gewährleisten. Obwohl es zwar prinzipiell möglich ist, solche Komponenten mittels Maschinen mit moderner Steuerungstechnik präzise zu fertigen, kann mit diesen wiederum eine automatisierte Serienproduktion nicht erfolgen, da jedes zu fertigende Bauteil einzeln von einer Fachkraft per Hand eingesetzt und nach der Bearbeitung aus der Maschine herausgeholt werden muss.

Um eine mögliche Lösung dieser Problematik zu schaffen, werden in der Industrie für die präzise Montage und Platzierung von Bauteilen in der Serienproduktion häufig Roboter eingesetzt, bei denen



mehrere nebeneinanderliegende Antriebe an eine gemeinsame Plattform montiert sind. Dieses Prinzip wird zum Beispiel bei Flugsimulatoren verwendet. Zwar kann mit dieser Struktur die Steifigkeit des Gesamtsystems erhöht werden und damit in Folge dessen Präzision und Wiederholgenauigkeit, gleichzeitig wird aber damit die Größe des Arbeitsraumes stark eingeschränkt. Um eine Abhilfe der bereits genannten Probleme zu schaffen, können Roboterarme durch eine Mikro-Positioniereinheit erweitert werden, woraus sich ein neues Gesamtsystem ergibt, welches aus zwei Subsystemen besteht: der so genannte Makro-Mikro-Manipulator. Der größere Roboterarm, die Makro-

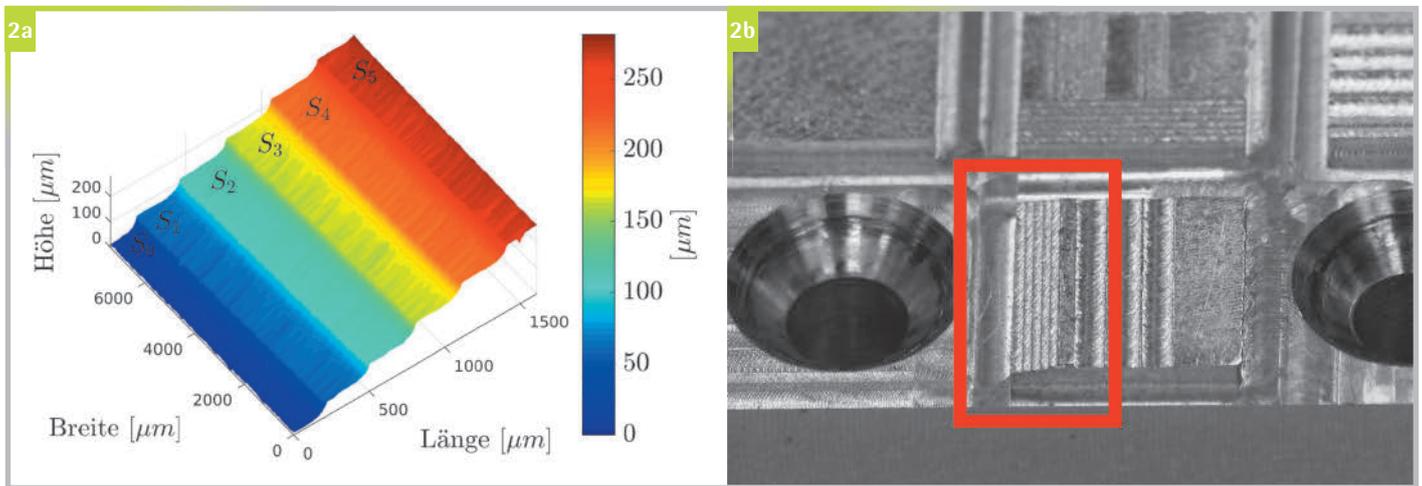
Positioniereinheit, ist dabei für die grobe Positionierung des Roboters im Raum verantwortlich, die kleinere Mikro-Positioniereinheit übernimmt wiederum die Rolle der Feinpositionierung. Somit ist es möglich, die Vorteile beider Systeme zu vereinen: Einerseits kann durch den Makro-Roboter die Traglast und der Arbeitsraum erhöht und andererseits durch den Mikro-Roboter eine hohe Präzision gewährleistet werden.

Die Grundidee der Makro-Mikro-Manipulatoren existiert

sitzen die Eigenschaft, sich bei Anlegen einer Spannung auszudehnen. Da diese Ausdehnung in einer nanoskopischen Größenordnung (das heißt Ausdehnungen um wenige Milliardstel Meter) liegt, werden mehrere dieser Piezokristalle hintereinander gestapelt und verklebt, so dass größere Auslenkungen möglich sind. Eine besondere Herausforderung für die Regelung dieser Piezokristalle stellt dabei deren komplexes Verhalten dar. Im Gegenzug zeichnen sich diese kleinen Kristalle aber wiederum durch hohe Kräfte

untersuchende Probe gestrahlt und das reflektierte Licht von einem Detektor eingefangen. Dabei wird ein Teil des Lichts von dem Material absorbiert. Somit können Rückschlüsse auf die Materialzusammensetzung der Probe gezogen werden, ohne dabei die Probe zu zerstören oder in sie eindringen zu müssen. Zum Beispiel könnten Diabetiker in baldiger Zukunft ihre Glukosekonzentration messen, ohne sich dabei in den Finger stechen zu müssen. Allerdings sind die bisherigen Laborspektrometer meistens zu

Abbildung 1a, 1b, 1c
Die Aufnahmen zeigen drei Roboter (KUKA Agilus, Stäubli TX90 und Bodensee Gerätetechnik μ KROS-316), die am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) zur Verfügung stehen und welche als Makro-Positioniereinheit verwendet werden können.
Foto: Institut für Mess- und Regelungstechnik



bereits seit den 1980er Jahren – seitdem wird an diesen Systemen geforscht. Das Anwendungsgebiet von Makro-Mikro-Manipulatoren deckt ein weites Feld ab, von der Fertigung und Montage bis hin zur Medizintechnik. Am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) stehen drei Roboter (KUKA Agilus, Stäubli TX90 und Bodensee Gerätetechnik KROS-316, siehe *Abbildung 1*) zur Verfügung, welche als Makro-Positioniereinheit verwendet werden können. Als Mikro-Positioniereinheit wird am IMR ein Miniaturroboter verwendet, der sich in alle drei Raumachsen bewegen kann und dessen Auslenkung mittels sogenannter Piezokristalle erfolgt. Diese Materialien be-

und schnelle Reaktionszeiten aus. Außerdem ist eine Auflösung im nanoskopischen Bereich erreichbar, welche bei Motoren unter anderem durch die auftretende Reibung und Trägheit nicht ohne weiteres möglich ist. Daher werden diese Kristalle oft für Systeme verwendet, bei denen nur kleine Auslenkungen eine Rolle spielen.

Ein Schwerpunkt des IMR liegt unter anderem im Einsatz optischer Systeme für die Messtechnik. In diesem Zug ist auch das Fourierspektrometer zu nennen, welches in vielen Bereichen Anwendung findet, wie zum Beispiel beim Messen von Oberflächen und in der Medizin. Bei diesem Gerät wird Licht auf eine zu

groß und zu schwer, um sie außerhalb des Labors zu verwenden.

Um letztendlich handlichere Geräte zu fertigen, die sich zum Beispiel als Armband tragen lassen, müssen die bisher verwendeten Komponenten stark verkleinert werden. In konventionellen Geräten befindet sich unter anderem ein beweglicher Spiegel. Anstatt nun einen beweglichen Spiegel zu verwenden, kann alternativ ein miniaturisierter Stufenspiegel eingesetzt werden, woraus sich hauptsächlich zwei Vorteile ergeben. Einerseits entfällt ein sich bewegender Spiegel, was sowohl laufende Kosten als auch Instandhaltungskosten einspart und auf der anderen Seite

Abbildung 2a, 2b
Hier ist die Aufnahme eines ge-
frästen Miniaturspiegels mittels
eines Lasermikroskops (links)
und mittels einer handelsüblichen
Spiegelreflexkamera (rechts) zu
sehen.
Foto: Institut für Mess- und Rege-
lungstechnik



Christopher Schindlbeck

Jahrgang 1985, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mess- und Regelungstechnik. Seine Forschungsinteressen liegen hauptsächlich in der Regelungstechnik, Robotik, Optik und dem maschinellen Lernen. Kontakt: christopher.schindlbeck@imr.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Christian Pape

Jahrgang 1978, ist seit 2011 Arbeitsgruppenleiter für Regelungstechnik und Akustik am Institut für Mess- und Regelungstechnik. Seine Forschungsinteressen liegen hauptsächlich in der bildrückgeführten Regelung und der aktiven Schallkompensation. Kontakt: christian.pape@imr.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier

Jahrgang 1957, ist seit 1996 Direktor des Instituts für Mess- und Regelungstechnik. Davor war er technischer Direktor für die Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH. Seine aktuellen Forschungsinteressen liegen in der Regelungstechnik, Biomedizintechnik, Fertigungs-, Oberflächen- und optischen Messtechnik. Kontakt: sekretariat@imr.uni-hannover.de

kann der Grad der Miniaturisierung erhöht werden, indem die Stufen des Spiegels entsprechend klein gewählt werden. Bisher ist eine industrielle Serienfertigung eines solchen Miniaturspiegels nicht möglich. Zwar konnte zum Beispiel die Firma Kugler GmbH einen solchen Miniaturspiegel anfertigen, die Maschine allerdings kostet zwischen einer halben und einer Million Euro. Des Weiteren ist eine kostspielige Klimakammer von Nöten, welche unter kontrollierten Bedingungen die geforderte Präzision gewährleisten kann. Am IMR wurde sich das Prinzip der Makro-Mikro-Manipulation zu Nutze gemacht, um zu zeigen, dass es in der Tat möglich ist, eine präzise Manipulation im Mikrometerbereich mittels gewöhnlicher Industrieroboter zu erreichen. Als beispielhafte Anwendung kann der miniaturisierte Stufenspiegel genommen werden. Dafür wird der Makro-Mikro-Manipulator zusätzlich um ein Kamerasystem erweitert, so dass eine bildrückgeführte

Regelung ermöglicht wird. Zusätzlich werden kleine weiße Kügelchen am Roboter als Marker befestigt und mit schwarzem Stoff hinterlegt, so dass sich damit ein hoher Kontrast ergibt. Das Kamerasystem besteht aus zwei schwarz-weiß Hochgeschwindigkeitskameras mit speziellen Objektiven, woraus sich zweierlei Vorteile ergeben: Einerseits erlaubt die hohe Bildfrequenz der Kameras eine genaue Positionsregelung und andererseits ergibt sich mittels der Objektive ein größerer Schärfentiefenbereich. Zusätzlich wird am Miniaturroboter ein Fräser angebracht, der den miniaturisierten Stufenspiegel aus einem Aluminiumblock fräst. Die Regelung ist nun so ausgelegt, dass der Makro-Roboter eine vorgegebene Bahnkurve abfährt, während gleichzeitig Abweichungen über das Kamerasystem detektiert und diese durch den Miniaturroboter ausgeglichen werden. *Abbildung 2* zeigt die Aufnahme eines solch gefrästen Miniaturspiegels mittels

eines Lasermikroskops (links) und mittels einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera (rechts). Darin ist erkennbar, dass eine vorgegebene Stufenhöhe von 50 Mikrometer (das heißt 50 millionstel Meter) und eine Stufenbreite von 250 Mikrometer erreicht werden konnte.

Somit wurde am IMR erfolgreich gezeigt, dass durch den Einsatz eines Makro-Mikro-Manipulators eine Fertigung von Komponenten im mikroskopischen Bereich möglich ist, während gleichzeitig der inhärente Konflikt des Arbeitsraumes, der Präzision und der Tragfähigkeit gelöst wird. Insbesondere für die Fertigung von optischen Mikrosystemen, bei denen die Anforderungen an die Miniaturisierung und Kostenreduzierung stetig steigen, versprechen solche Systeme daher ein großes Potenzial für die Zukunft.