

# Die „Desktop-Factory“ wird Realität

Präzisions-Mikrogetriebe und Mechatronik in Miniatur machen es möglich



*Elektromechanische Antriebssysteme in Verbindung mit Getrieben sind zum Erzeugen von definierten Bewegungen außerordentlich gut geeignet. Durch den Einsatz spezifischer Sensoren können Informationen rund um die Bewegungsaufgabe erfasst werden. Mit darauf abgestimmten Regelungsstrategien werden so ganz neue Funktionalitäten erreicht. Neben klassischen Anwendungen wie in sensorgeführten Robotern ergeben sich auch neuartige Einsatzgebiete, z. B. für miniaturisierte mechatronische Lösungen.*

Die Autoren: Dr. Rolf Slatter, Harmonic Drive, Limburg; Dipl.-Ing. Arne Burisch, Institut für Werkzeugmaschinen & Fertigungssysteme (IWF), Technische Universität Braunschweig

Die Micromotion GmbH, eine Tochterfirma der Harmonic Drive AG, hat gemeinsam mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme (IWF) der TU Braunschweig einen kleinen hybriden SCARA-Roboter mit Parallelkinematik mit dem Namen Parvus entwickelt (Bild 1). Bisher mussten Maschinen für die Präzisionsmontage um einiges größer sein als das zu bearbeitende Werkstück oder der benötigte Arbeits-

raum mit Parallelstrukturen gesammelt hat, wie z. B. mit dem Triglide-Roboter, der eine Wiederholgenauigkeit besser als 1 µm erzielt.

Diese existierenden Lösungen haben eines gemeinsam: sie sind sehr teuer und bauen groß. Damit entsprechen sie nicht mehr den wachsenden Anforderungen des Marktes nach kleineren, kostengünstigeren Robotern für Positionier- und Montageaufgaben. Die Entwicklung solcher Ro-

## ■ Es gibt einen großen Bedarf an miniaturisierten und kosteneffektiven Montageanlagen ■

boter wird jetzt durch neue mechatronische Technologien ermöglicht: mit spielfreien Mikropräzisionsgetrieben und hochdynamischen Mikromotoren mit integriertem Inkrementalencoder können erprobte Roboterarmstrukturen jetzt auch miniaturisiert werden. Darüber hin-

raum. Dank miniaturisierter Mechatronik ist ein hochgenauer Mikroroboter mit einer Grundfläche von nur 150 x 150 mm<sup>2</sup> entstanden, der kleine Werkstücke mit einer Masse von bis zu 50 g mit einer Wiederholgenauigkeit besser als 1 µm positioniert.

Diese „Desktop-Factory“ ist für die präzise Montage von Kleinst-Bauteilen konzipiert und verfügt über eine innovative Struktur mit parallel angeordneten Armen. In den Primärachsen der Parallelarme sind spielfreie Micro Harmonic Drive Getriebeboxen integriert, die eine Wiederholgenauigkeit im Sub-Mikrometer-Bereich bieten. Durch die miniaturisierten Abmessungen des Mikroroboters ist die Gestaltung einer kompletten Montagelinie auf der Fläche eines Tisches möglich.

### Bisherige Lösungsansätze

Bei der einfachsten Klassifizierung der bisherigen Lösungsansätze erfolgt eine Unterteilung in serielle, parallele und hybride Strukturen, die wiederum in vier Unterkategorien unterteilt werden können. Die erste Kategorie umfasst kartesische Roboter. Diese sind üblicherweise sehr groß im Vergleich zu den handzuhabenden Bauteilen und daher auch oft recht kostspielig. Sie erreichen jedoch eine hohe Wiederholgenauigkeit von 1 bis 3 µm. Die zweite Kategorie beinhaltet SCARA Roboter, die im Verhältnis zur eigenen physikalischen Größe einen relativ großen Arbeitsbereich haben, jedoch in der Ausführung mit der größten Genauigkeit nur eine Wiederholgenauigkeit von +/- 5 µm aufweisen. Roboter mit Parallelstruktur findet man im industriellen Einsatz eher weniger. Die meisten Entwicklungen beschränken sich hier auf den universitären Forschungsbereich, so z. B. an der TU Braunschweig, wo man ausgiebige Erfahrun-

Kriterium	Wert	Einheit
Arbeitsraum	54 x 85 x 20	mm <sup>3</sup>
Grundfläche	< 150 x 150	mm <sup>2</sup>
Wiederholgenauigkeit	< 1	µm
Lineargeschwindigkeit (X,Y,Z Richtung)	> 100	mm/s
Drehgeschwindigkeit (θ Achse)	> 160	°/s
Winkelauflösung (θ Achse)	< 0.005	°
Last	50	g

Tabelle: Grundanforderungen an das mechatronische System Mikroroboter

aus ermöglichen sie den Einsatz neuer Reglertechnologien und tragen so dazu bei, dass man auf die Verwendung von komplexen „alternativen“ Aktuatoren, wie z. B. Piezoantriebe, verzichten kann.

### Grundlegende Konstruktionsanforderungen

Aufgrund der Anforderungen, die der potenzielle Anwender vorgibt, sind vier Freiheitsgrade notwendig. Drei Achsen werden für die Positio-

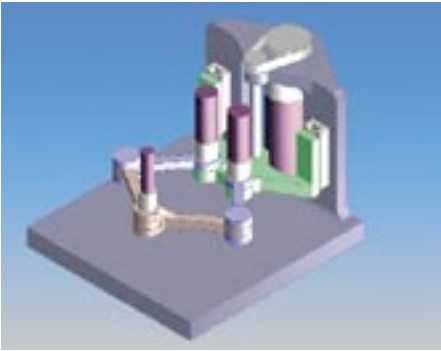


Bild 2: Roboter mit paralleler Struktur

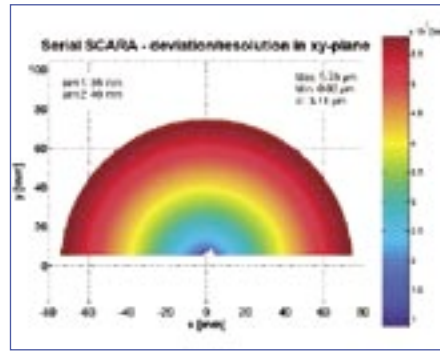


Bild 3: Auflösung bei der seriellen SCARA-Struktur

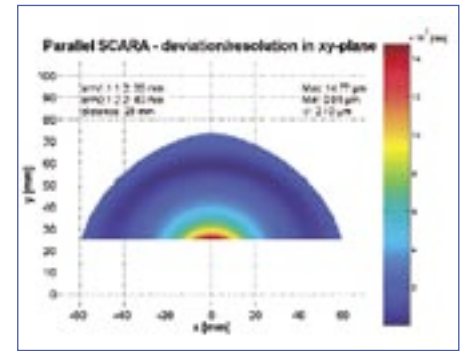


Bild 4: Auflösung bei der parallelen SCARA-Struktur

## Die Bedeutung der Mikromontage

In vielen Bereichen der Konsum- und Investitionsgüter zeichnet sich ein eindeutiger Trend zur Miniaturisierung ab. Dies führt zu einem jährlichen Wachstum von 20 % für Produkte, die auf Mikrosystemtechnik basieren und erhöht zudem die Nachfrage nach Mikroproduktionstechnologien. Die Ergebnisse der „Mikropro“ Studie über den aktuellen Stand im Bereich der Mikroproduktionstechnologie zeigen z.B., dass der Trend zu multifunktionalen, hybriden Baugruppen im Bereich der Mikrosystemtechnik zu einer steigenden Nachfrage nach Geräten führt, die präzise positionieren können und kleinste Bauteile mit einer Genauigkeit von weniger als 1 µm montieren können.

J. Hesselbach, A. Raatz: „mikroPRO – Untersuchung zum internationalen Stand der Mikroproduktionstechnik“, Vulkan Verlag, Essen, 2002

nierung des Werkstückes in drei orthogonalen linearen Koordinaten benötigt. In den meisten Mikromontage-Anwendungen muss das Werkstück auch ausgerichtet werden, so dass eine vierte rotatorische Achse ebenso erforderlich ist (Tabelle). Bild 2 zeigt eine parallele Struktur, bei der zwei serielle Arme an der Handachse miteinander verbunden sind. Auch hier treiben Mikrogetriebemotoren die Schultergelenke an. Die Ellbogengelenke sind passiv und in diesem Fall werden vorgespannte Kugellager verwendet, um für Spielfreiheit in den Gelenken zu sorgen. In beiden Konzepten wird ein Getriebemotor in die Handachse integriert, um eine zusätzliche Rotationsachse für die Ausrichtung des Werkstückes zur Verfügung zu stellen.

In den Bildern 3 und 4 werden die Ergebnisse der Analyse der seriellen und parallelen Basisstruktur gezeigt. Bei der seriellen Anordnung wird in sehr begrenzten Bereichen des verfügbaren Arbeitsraums eine Auflösung im Sub-µm-Bereich erreicht. Im Vergleich dazu ergibt sich bei der parallelen Struktur eine symmetrische Sub-µm-Auflösung über nahezu den gesamten Arbeitsraum. Darüber hinaus bietet die Parallelstruktur eine deutlich bessere dynamische Performance, da nur der Getriebemotor für die vierte (rotierende) Achse vom bewegenden Arm getragen wird. Die Miniaturisierung der passiven Gelenke der Parallelstruktur lässt sich müheloser realisieren als bei den aktiven Gelenken. Ein Nachteil der parallelen Struktur ist jedoch die komplexere Regelung aufgrund der geschlossenen kinematischen Struktur.

## Vom Mikrogetriebe zum Mikroroboter

Wie bereits angedeutet wurde, spielen spielfreie Mikrogetriebe bei dieser Anwendung eine zentrale Rolle. 2001 hat die Micromotion GmbH in Mainz das Micro Harmonic Drive Getriebe, bei dem es sich um das welt kleinste spielfreie Präzisionsgetriebe handelt, in den Markt eingeführt. Mit einer Wiederholgenauigkeit von 10 Winkelsekunden bietet es als einziges Mikrogetriebe die erforderliche Genauigkeit für einen Mikroroboter dieser Art. Die oberen Arme der Parallelstruktur (Bilder 1 und 2) werden von diesen Getrieben in Kombination mit Mikromotoren und integrierten Encodern angetrieben. Derzeit wird

ein DSpace-Entwicklungssystem als Steuerung genutzt, da dieses die Möglichkeit bietet, Kinematik- und Regelungssoftware in einer flexiblen und leistungsfähigen Umgebung zu entwickeln. Während 2006 wird eine gängige Industriesteuerung an den Roboter angepasst in Vorbereitung an die ersten industriellen Einsätze.

Im Parvus Roboter wird zudem eine neue zum Patent angemeldete Verzahnung, die „P-Verzahnung“, die zu einer deutlichen Leistungssteigerung des Mikrogetriebes führt, eingesetzt. Diese neue Verzahnung ermöglicht die Übertragung von einem doppelt so hohen Drehmoment wie die bisherige Verzahnung, was wiederum zu höheren Armbeschleunigungen und daher reduzierten Zykluszeiten des Roboters führt. Erste Tests mit dem Parvus beweisen, dass dieser innovative Mikroroboter die beschriebenen Anforderungen voll erfüllt. Damit wird die „Desktop Factory“ in greifbare Nähe gebracht.

## MICROMOTION