

PARVUS - Größenangepasstes Handhabungsgerät für die Desktop-Factory

Arne Burisch¹, Dr.-Ing. Annika Raatz¹, Björn Hoxhold²

¹ Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF), TU Braunschweig, Deutschland;

² Institut für Mikrotechnik (IMT), TU Braunschweig, Deutschland;

Kurzfassung

Hohe Investitions- und Unterhaltungskosten von Präzisionsmaschinen und Reinräumen machen eine automatisierte Montage innovativer Mikroprodukte für die KMU derzeit fast unmöglich. Die Entwicklung kostengünstiger größenangepasster modularer Produktionslinien, auch bezeichnet als Desktop-Factories, kann hier Abhilfe schaffen. Eine kurze Übersicht zum Stand der Technik und der Forschung macht deutlich, dass oftmals die Entwicklung miniaturisierter Fertigungszellen durch den Bauraum der Präzisionsroboter nach unten begrenzt ist. Als Lösungsansatz wird ein Funktionsmuster eines größenangepassten Präzisionsroboters vorgestellt, welches in einer Roboterzelle von 130 x 170 mm² Platz findet. Der Roboter kann mit neuartigen, in SU8-Fotolack gefertigten, Mikrogreifern ausgestattet werden und stellt damit einen möglichen Baustein für die Desktop-Factory dar.

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Situation

In den letzten Jahren ist ein immer weiter voranschreitender Miniaturisierungstrend von Produkten zahlreicher Anwendungsbereiche zu beobachten. Darüber hinaus wird in der Nexus III Marktstudie [1] für die kommenden Jahre ein jährliches Wachstum von 16% der Mikrosystemtechnik(MST)-Branche prognostiziert. In diesem Zusammenhang entsteht jedoch zwischen den immer kleiner werdenden Produkten und den zu deren Herstellung eingesetzten Handhabungsgeräten ein immer größeres Ungleichgewicht bezogen auf Baugrößen und Kosten. Hohe Investitions- und Unterhaltungskosten von Präzisionsmaschinen und Reinräumen machen eine automatisierte Montage innovativer Mikroprodukte für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) derzeit fast unmöglich. Aufgrund dessen findet häufig eine händische Montage dieser Produkte statt, was sich in Montagekostenanteilen von 20% bis zu 80% der Gesamtkosten niederschlagen kann [2].

1.2 Potentiale der größenangepassten Robotik

Innerhalb der letzten Jahre sind diverse Arbeiten zu miniaturisierten oder größenangepassten Handhabungseinrichtungen für die Mikromontage entstanden. Hier werden zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze erkennbar. Einer davon verfolgt hoch miniaturisierte autonome, meist piezogetriebene Mikroroboter und Manipulatoren von wenigen Zentimetern Größe, wie beispielsweise den von *Fatikow* [3] entwickelten *MINIMAN*.

Der zweite Ansatz beschreibt größenangepasste Handhabungsgeräte, wie zum Beispiel den *Parvus*, die mit ihren Ausmaßen von bis zu wenigen Dezimetern die Lücke zwischen konventioneller Handhabungstechnik und den Mikrorobotern schließen. Diese Geräte profitieren nicht nur vom geringeren Energie- und Platzbedarf, sondern ermöglichen darüber hinaus erhöhte Flexibilität in Produktionsanlagen. Beispielsweise lassen sich durch den Einsatz neuartiger mikrotechnisch gefertigter Maschinenelemente miniaturisierte Handhabungsgeräte mit gleicher Funktions-Flexibilität wie herkömmliche große Roboter ausstatten. Da ein herkömmlicher Roboter, bezogen auf seinen Raumbedarf, mit einer Vielzahl an größenangepassten Geräten ersetzt werden kann, lässt sich die Flexibilität des Produktionsvolumens einer Produktionsanlage steigern. Die hohe Funktionsdichte miniaturisierter Anlagen ermöglicht außerdem bessere Flexibilität in den Einsatzorten. Hier lassen sich beispielsweise ganze Anlagen in einer Reinraumzelle unterbringen oder bei Standortwechsel des Unternehmens leicht transportieren. Darüber hinaus lässt sich die Eigenschaftsflexibilität veralteter Anlagen, welche aus wirtschaftlichen Gründen nicht ersetzt werden können, erweitern. Die Integration von größenangepassten Geräten in herkömmliche Maschinen kann beispielsweise die Eigenschaften einzelner Maschinenachsen flexibel erweitern. Aus der Betrachtung der erweiterten Flexibilität lassen sich zwei Strategien der Systemintegration von größenangepassten Robotern ableiten (Bild 1):

- a) Als Komponente einer miniaturisierten Produktionsanlage, Desktop Factory
- b) Als Erweiterungskomponente integriert in eine konventionellen Maschine

Im Folgenden soll jedoch lediglich auf die Strategie der Desktop Factory (a) eingegangen werden.

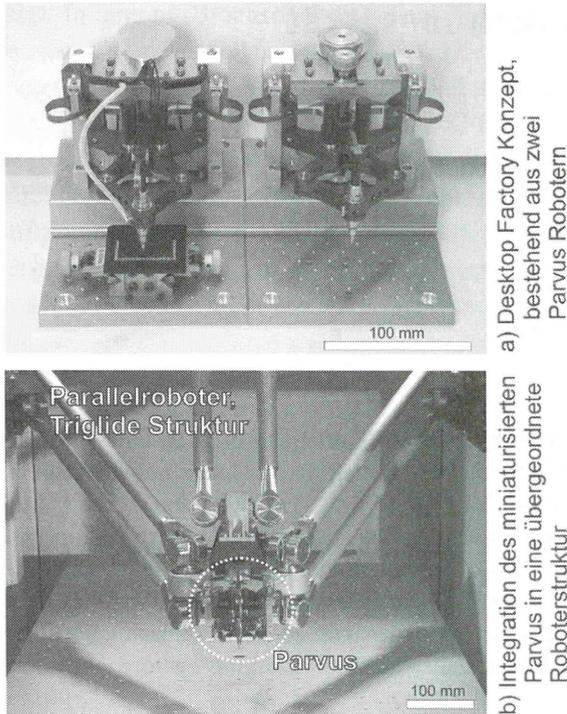


Bild 1 Strategien der Systemintegration

2. Modulare Desktop Factories

Um die oben erwähnten Potentiale der Flexibilität von größenangepassten Handhabungsgeräten voll auszunutzen, ist ein möglichst modularer Aufbau solcher Anlagen anzustreben. Auch *Breguet et al.* [4] weist in seinem Paper *Toward the Personal Factory* auf die hohe Bedeutung der Modularität von Desktop Factories hin. In der konventionellen Automatisierungstechnik lassen sich Vorbilder von modularen Produktionsanlagen mit beliebig kombinierbaren Fertigungszellen finden, wie beispielsweise von der Firma *IMSTec* [5] entwickelt. Zum Thema der Desktop Factory lassen sich jedoch kaum derartig modulare Ansätze in Industrie und Forschung finden. Ansätze, wie beispielsweise der von *Rochdi et al.* [6], verfolgen mit Planarmotoren ausgestattete Plattformen, welche von Handhabungsstation umgeben sind. Auch der industrielle Anbieter *MiLaSys* [7] ordnet miniaturisierte Handhabungseinrichtung um einen festen Arbeitsplatz an. Andere Ansätze, wie beispielsweise der von *Uusitalo et al.* [8], beruhen auf dem Einsatz eines kommerziellen Präzisionsroboters in einer miniaturisierten Fertigungszelle. Hier und am bereits erwähnten Beispiel von *IMSTec* wird jedoch deutlich, dass die Größe der meisten Fertigungszellen durch die Baugröße der konventionellen Präzisionsroboter stark nach unten begrenzt ist. Es zeigt sich also ein starker Entwicklungsbedarf von größenangepassten Präzisionsgeräten für die Miniaturisierung von Produktionsanlagen. Ansätze in diese Richtung verfolgen das *EPFL* und *HTI-Biel* in der Schweiz mit ihren modularen Reinraum-

zellen, so genannten *Microboxes* und dem miniaturisierten Präzisionsroboter *PocketDelta* [9], [10].

3 Präzisionsroboter Parvus

Motiviert durch den Entwicklungsbedarf von miniaturisierten Handhabungsgeräten setzte sich das *IWF* in Kooperation mit der *Micromotion GmbH* [11] die Entwicklung eines Präzisionsroboters mit besonders hohem Miniaturisierungsgrad zum Ziel. Der Funktionsumfang des Roboters *Parvus* sollte dabei herkömmlichen größeren Modellen um nichts nachstehen und drei translatorische sowie eine rotatorische Freiheit bieten. Basierend auf Produktbeispielen der Mikrosystemtechnik, wie beispielsweise einem *Lab-on-a-chip*, erwies sich ein notwendiger maximaler Arbeitsraum des Roboters von der Größe einer Chipkarte als ausreichend. Der *Parvus* wurde hinsichtlich guter Genauigkeitseigenschaften und einem optimalen Verhältnis von Arbeitsraum zu Bauraum ausgelegt.

3.1 Struktursynthese

Zur Ermittlung einer geeigneten größenangepassten Roboterkinematik wurde zunächst eine Struktursynthese mit Hilfe von Analysen, programmiert in einer *Matlab*-Umgebung, durchgeführt. Es wurden zwei grundlegende kinematische Strukturen einer parallelen und seriellen Roboterkinematik mit unterschiedlichen Gliedlängen und Fußpunktabständen untersucht (Bild 2).

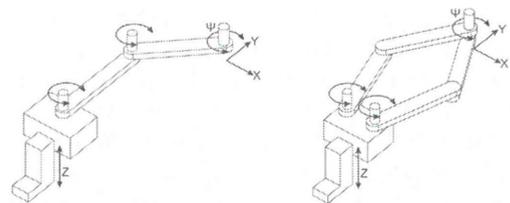


Bild 2 Serielle (li) und parallele (re) Roboterkinematik für die XY-Ebene

Als Beurteilungskriterium dienen Simulationen der Empfindlichkeit jeder dieser Strukturen in der XY-Ebene. Die Simulation der Empfindlichkeit basiert auf den möglichen Antriebsfehlern und Radialagerschlägen von wenigen Milligrad in den Roboterjelenken. Durch Addition des simulierten Fehlers der Strukturempfindlichkeit und der Maßtoleranzempfindlichkeit konnte die Wiederholgenauigkeit des Roboters prognostiziert werden. Die Ergebnisse dieser Simulation (Bild 3) zeigen für die serielle Struktur geringe Fehlereinflüsse im unteren Bereich des Arbeitsraumes. Die parallele Struktur weist jedoch einen größeren und besser nutzbaren Bereich von geringen Fehlereinflüssen auf und wurde daher als Kinematik für die X- und Y-Achse ausgewählt.

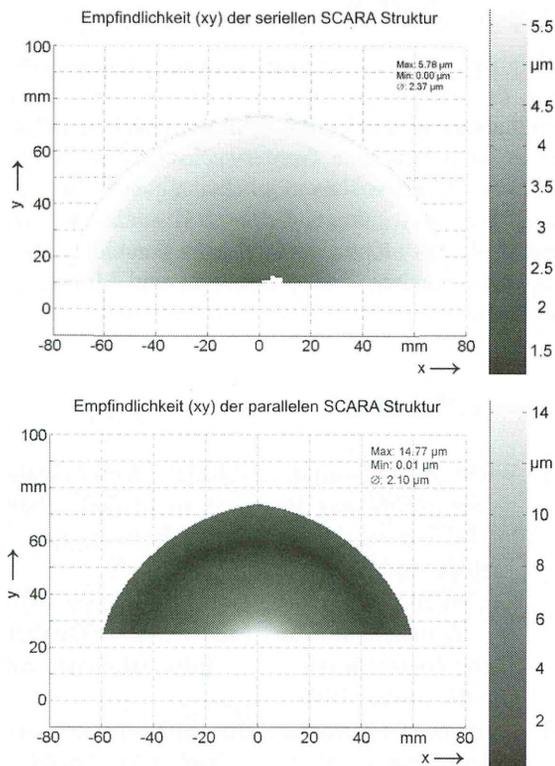


Bild 3 Simulation der Empfindlichkeit

Die Ergebnisse der Empfindlichkeitssimulationen ließen bei der parallelen Struktur eine Wiederholgenauigkeit von (1...6) µm und besser prognostizieren.

3.2 Erstes Funktionsmuster

Das erste Funktionsmuster des Parvus weist folgende technische Daten auf:

Merkmal	Wert	Einheit
Arbeitsraum (XY, absolut)	4658	mm ²
Arbeitsraum (max. kubisch)	60x45x20	mm ³
Standfläche des Roboters	100x53	mm ²
Roboterzelle	130x170	mm ²
Auflösung max. (XY-Ebene)	< 1	µm
Pose-Wiederholgenauigkeit (XY)	14,1	µm
Geschwindigkeit (lin, XY)	> 100	mm/s
Geschwindigkeit (rot, Ψ)	187*/60**	U/m
Winkelauflösung (Ψ Achse)	0,022*/0,007**	°
Last	50	g

*Übersetzungsverhältnis 160:1 / **Übersetzungsverhältnis 500:1

3.3 Roboterantriebe

Als miniaturisierte Positionierantriebe kommen die in LIGA-Technik gefertigten Mikrogetriebe der *Micro-motion GmbH* [11] in Kombination mit miniaturisierten rotatorischen Elektromotoren zum Einsatz. Durch das *Micro Harmonic Drive* Getriebe werden erstmalig die für Mikroantriebe und Mikropositioniersysteme

wichtigen Übertragungseigenschaften eines Getriebes in der Mikroantriebstechnik bereitgestellt. Diese sind Spielfreiheit, gute Wiederholgenauigkeit, Drehmomentkapazität bis über 50 mNm und hohe Übersetzungen von bis zu 1:1000.

3.4 Genauigkeitsuntersuchung

Das erste Funktionsmuster weicht mit einer Wiederholgenauigkeit zwischen (6...14) µm in der XY-Ebene vom eigentlich prognostizierten Wert von (1...6) µm ab. Beobachtungen zeigen, dass das Bewegungsverhalten des Roboters stark von der Getriebebesteifigkeit der Mikrogetriebe abhängt. Da die spielfreien, aber elastisch vorgespannten Getriebe gegenüber der Roboterkinematik eine wesentlich geringere Steifigkeit aufweisen, können schon geringe Störeinflüsse, wie Reibung in den Wälzkörpergelenken, zu einer Positionsabweichung von wenigen Mikrometern führen. Es wird deutlich, dass an dieser Stelle nicht maßgeblich Wälzkäfigwanderung und Radialschläge für eine Verschlechterung der Wiederholgenauigkeit ausschlaggebend sind, sondern das Steifigkeitsverhalten der Antriebe. Die Erhöhung der Getriebebesteifigkeit und Optimierung der Reibmomente innerhalb der Roboterstruktur bieten noch einiges Verbesserungspotential hinsichtlich einer Genauigkeitssteigerung des Roboters.

4 Handhabungswerkzeuge

Der Roboter wurde zunächst mit einem üblichen Vakuumgreifer ausgestattet und kann *Pick-and-Place*-Vorgänge, wie beispielsweise das Handhaben von Glaskugeln durchführen (Bild 4).

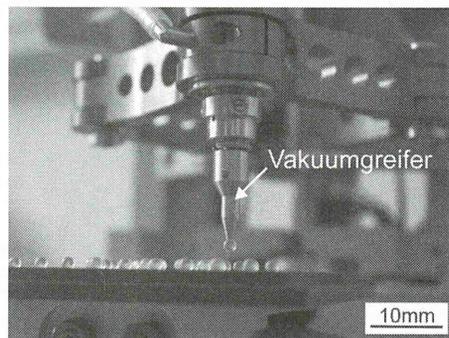


Bild 4 *Pick-and-Place* von Glaskugeln (Ø 1,5 mm)

Die Mikrosystemtechnik steht jedoch zunehmend vor der Herausforderung Bauteile kleiner als 500 µm sicher zu handhaben. Zu diesem Zweck wurde in die Handachse des Parvus in Zusammenarbeit mit dem *IMT* der *TU Braunschweig* ein mechanischer Zweiba-cken-Mikrogreifer integriert. Dieser Greifer ermöglicht die Handhabung von Rubinkugeln mit einem Durchmesser von 200 µm (Bild 5).

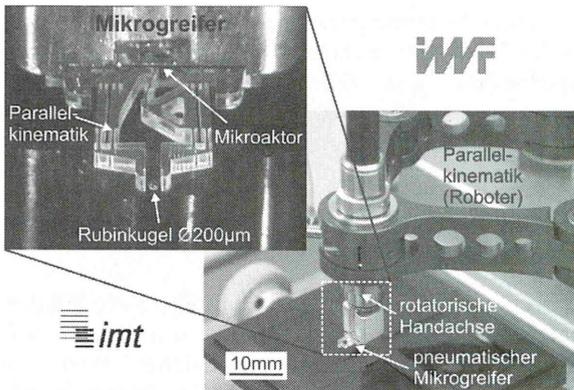


Bild 5 Parvus mit pneumatischem Mikrogreifer

4.1 Pneumatischer Mikrogreifer

Der Mikrogreifer besteht aus einer Silizium-Grundplatte, einer strukturierten SU8-Getriebe-Schicht und einem Glasdeckel. Bei der Herstellung dieser Sandwich-Struktur wird der Si-Wafer, der bei der Prozessierung als Trägersubstrat dient, im Trockenätzverfahren mit Bohrungen für die Druckluftversorgung versehen und anschließend mit SU8 belackt. Die Strukturierung der SU8 Getriebe und der faltenbalgähnlichen Aktorstrukturen erfolgt lithographisch. Durch einen Opferschichtprozess werden daraufhin die beweglichen Getriebestrukturen freigelegt. Das Deckeln der Kolbenstrukturen erfolgt in einem neuartigen Batch-Kleberverfahren, bei dem der thermoplastische Klebstoff elektrophoretisch selektiv am Glasdeckel abgeschieden wird. Der so beschichtete Glaswafer wird anschließend zu dem Si-Wafer ausgerichtet und verklebt. Abschließend wird das Sandwich beidseitig gesägt und die Greifer vereinzelt [12].

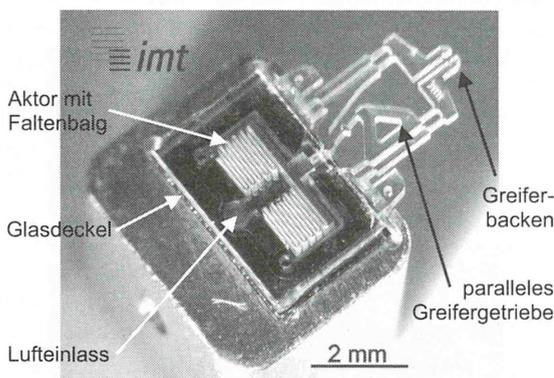


Bild 6 Pneumatischer Mikrogreifer (Einkolben)

Je nach Anwendungszweck können Ein- und Zweikolbengreifer hergestellt und mit Über- und Unterdruck (Einkolbendesign) oder nur mit Überdruck (Zweikolbendesign) betrieben werden. Die Einkolbenvariante (Bild 6) eignet sich besonders zum Austausch der standardmäßig an Pick-and-Place-Robotern vorhandenen Saugdüse gegen mechanisch klemmende Mikrogreifer.

5 Ausblick

In Kombination mit dem pneumatischen Mikrogreifer wird der *Parvus* zu einem vielseitig einsetzbaren Handhabungsgerät für die Mikromontage. Darüber hinaus ist bereits eine Greiferwechselstation in Planung um den *Parvus* als möglichen Baustein für eine Desktop-Factory vorzubereiten. Hinsichtlich des Desktop-Factory Konzepts sind jedoch noch wichtige Fragen zu präzisen Transportmitteln und Magazinen zu klären.

6 Literatur

- [1] Wicht, H.; Bouchaud, J.: *NEXUS Market Analysis for MEMS and Microsystems III 2005-2009*. In: MST-news, Verlag VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Vol. 5, S. 33-34, 2005
- [2] Koelemeijer, S.; Jacot J.: *Cost Efficient Assembly of Microsystems*. In: MST-news, VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, Teltow, 1999
- [3] Fatikow, S.: *Miniman*. In: Mikroroboter und Mikromontage, S. 277, ISBN 3-519-06264-x, Teubner Verlag, Stuttgart – Leipzig, 2000
- [4] Breguet, J.-M.; Bergander, A.: *Toward the Personal Factory?*. In: Proc. of SPIE, Microrobotics and -assembly III, Vol. 4568, pp. 293-303, 2001
- [5] *IMSTec*. <http://www.imstec.de>, 08.11.2006
- [6] Rochdi, K.; Haddab, Y.; Dembélé, S.; Chaillet, N.: *A Microassembly Workcell*. Proc. of Intern. Precision Assembly Seminar (IPAS' 2003), Bad Hofgastein, Austria, 2003
- [7] *MiLaSys technologies GmbH*. <http://www.milasys.de>, 08.11.2006
- [8] Uusitalo, J. J.; Viinikainen, H.; Heikkilä, R.: *Mini assembly cell for the assembly of mini-sized planetary gearheads*. In: Journal of Assembly Automation, Vol. 24/1, pp. 94-101, 2004
- [9] Codourey, A.; Perroud, S.; Mussard; Y.: *Miniature Reconfigurable assembly Line for small Products*. In: Proc. of the Third Intern. Precision Assembly Seminar (IPAS'2006), Bad Hofgastein, Austria, 19-21 February 2006, S. Ratchev (Edt.), pp. 193-200, 2006
- [10] Verettas, I.; Codourey, A., Clavel, R.: *"Pocket Factory": Concept of Miniaturized Modular Cleanrooms*. In: 1st Topical Meeting of Desktop MEMS and Nanofactories (TMMF2005), Tsukuba, JP, October 17-19, 2005
- [11] *Micromotion GmbH*. <http://www.micromotion-gmbh.de>, 30.07.2007
- [12] Hoxhold, B.; Burisch, A.; Büttgenbach, S.: *Pneumatische Mikrogreifer für die Präzisionsmontage*. In: Proc. of Mikrosystemtechnik-Kongress, 15.-17. Oktober, Dresden, 2007