

# 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten  
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,  
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,  
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,  
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005  
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau  
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel  
Dipl.-Ing. Helge Drumm  
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau  
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.  
Werner-von-Siemens-Str. 16  
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)  
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Helmut F. Schlaak / Uwe Jungnickel / Dirk Eicher

## **Miniaturisierbare skalierbare Positioniersysteme mit monolithischen kinematischen Strukturen**

### **Einführung**

Positioniersysteme mit einem Freiheitsgrad (DOF, degree of freedom) sind bereits in vielen unterschiedlichen Ausführungen bekannt, solche mit räumlichen Freiheitsgraden wurden dagegen bis jetzt nur vereinzelt betrachtet [1]. Konventionelle Positioniersysteme bestehen aus seriellen Kinematiken mit hohem Eigengewicht im Verhältnis zur Nutzlast. Im Folgenden wird die Entwicklung miniaturisierbarer Positioniersysteme mit 2 bis 5 DOF basierend auf monolithischen Parallelkinematiken und Inchworm-ähnlichen Schrittantrieben vorgestellt.

### **Monolithische parallelkinematische Strukturen**

Die Hauptziele des neuen Konzepts bestehen im weiten Skalierungsbereich und einer minimalen Anzahl von Einzelteilen. Durch planare Fertigung lassen sich alle mechanischen Grundelemente in eine Arbeitsplattform und eine räumliche Kinematik integrieren, so dass der Montageaufwand minimiert wird. Hierzu werden alle Gelenklagerungen und -führungen durch Festkörpergelenke [2] ersetzt. Da diese zusätzlich zu der gewünschten Bewegungsrichtung auch weitere parasitäre Freiheitsgrade aufweisen, können bekannte Parallelstrukturen [3] nicht einfach durch Einführen von Festkörpergelenken in ihre monolithische Entsprechung überführt werden, ohne dass es zu unerwünschten Nick-, Gier- oder Rollbewegungen der Arbeitsplattform kommt. Basierend auf den vorgestellten Grundlagen und unter Berücksichtigung der in [4] zusammengefassten Designregeln für monolithische Parallelkinematiken ist eine Familie monolithischer Kinematiken mit 2 bis 5 Freiheitsgraden entwickelt worden (Abb. 1).

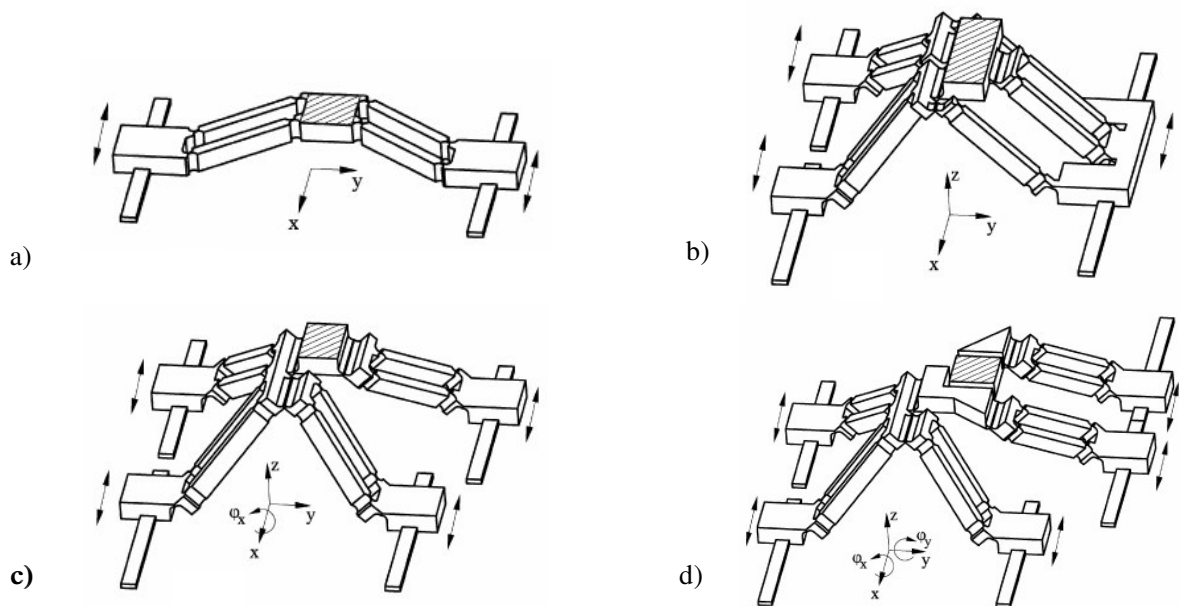


Abbildung 1: Kinematik-Familie; a) 2 DOF, b) 3 DOF, c) 4 DOF, d) 5 DOF

### Monolithische Schrittantriebe

Zum Antrieb der Kinematik kommen flächig aufgebaute Schrittantriebe mit Piezostapelaktoren auf Basis des Inchworm-Prinzips zum Einsatz (Abb. 2). Der Vorschub resultiert aus der Summation von kleinen Einzelschritten durch wechselseitiges Klemmen des Läufers mit zwei parallel zueinander oszillierenden Stegen. Um die übertragbaren Kräfte zu erhöhen, erfolgt die Klemmung formschlüssig mit einer Mikroverzahnung [5]. Auch die Antriebe sind weitgehend monolithisch herstellbar, sie lassen sich in ihren Abmessungen über weite Bereiche skalieren. Unter der Annahme, dass sich alle geometrischen Abmessungen um den Faktor  $\varphi$  verändern, kann gezeigt werden, dass die erforderliche Piezoaktorlänge mit  $\varphi$ , die im System wirkenden Kräfte mit  $\varphi^2$  und die Biegesteifigkeit der Federstrukturen mit  $\varphi^3$  skalieren. Darüber hinaus lässt sich das Skalierungsverhalten der Antriebe durch konstruktive Veränderung der Verzahnung positiv beeinflussen.

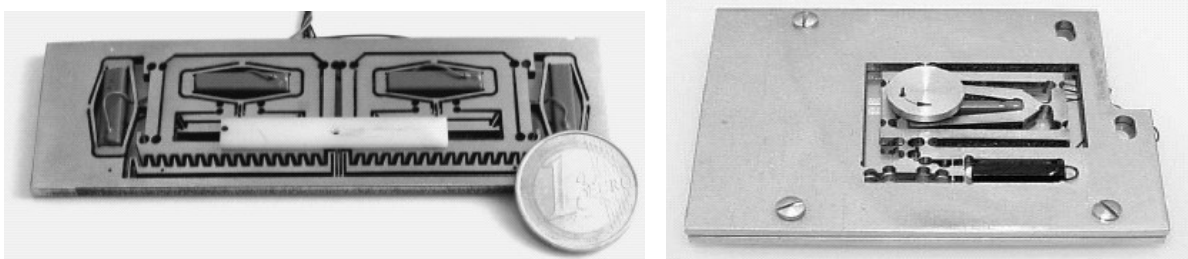


Abbildung 2: Monolithische Schrittantriebe; a) linear, b) rotatorisch

### Mikropositioniersystem mit 3 Freiheitsgraden

Abb. 3 zeigt den realisierten Prototypen einer 3-DOF-Plattform. Sowohl die kinematische Struktur als auch die drei Antriebe sind aus einem planaren Halbzeug gefertigt, wobei die räumliche Kinematik wegen der großen Biegewinkel aus Kunststoff und die Arbeitsplattform mit drei linearen Schrittantrieben aus Edelstahl bestehen.

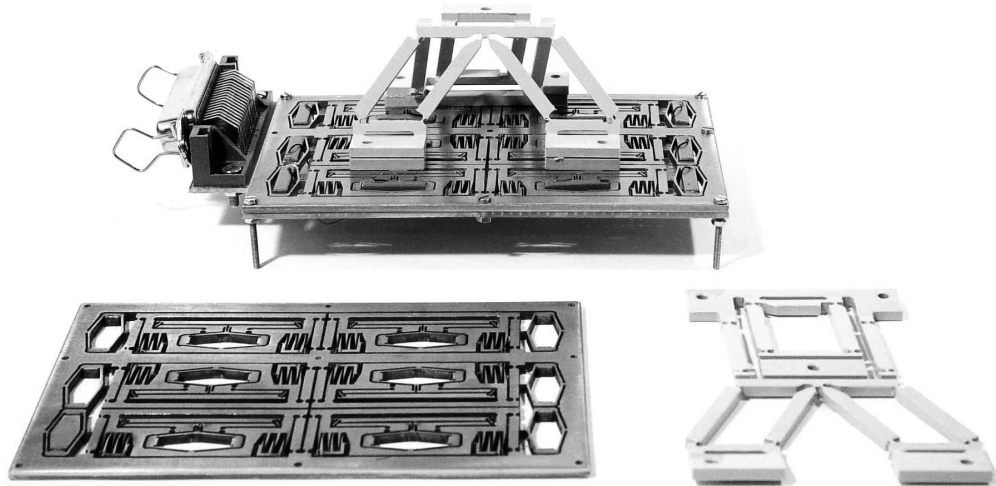


Abbildung 3: Planare Einzelteile und Gesamtpositioniersystem

Um die Leistungsfähigkeit des Systems zu untersuchen, wurden diese in einem eigens aufgebauten Versuchsstand mit Weißlichtinterferometer vermessen. Es wurden Positioniergenauigkeit und Reproduzierbarkeit sowohl bezüglich der translatorischen als auch der rotatorischen Freiheitsgrade für über 10.000 Lastspiele bestimmt (Abb. 4a). Der erreichbare Arbeitsraum des Systems beträgt  $4 \text{ cm}^3$  (Abb. 4b).

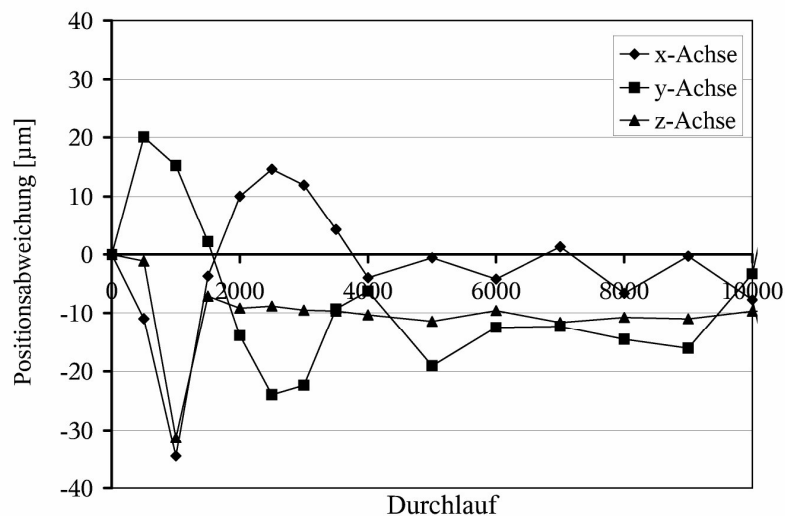


Abbildung 4a: Positioniergenauigkeit in Abhängigkeit der Lastspiele

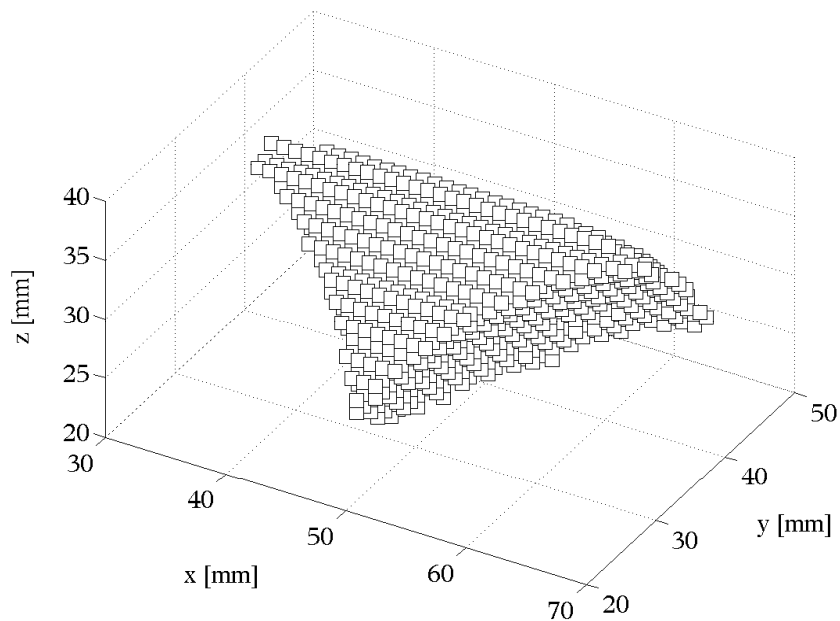


Abbildung 4b: Arbeitsraum der 3-DOF-Kinematik

Um zukünftig das Skalierungspotential des vorgestellten Kinematiken und Antriebe ausnutzen zu können und den Übergang vom miniaturisierbaren zum miniaturisierten Positioniersystem zu erreichen, können die bisher eingesetzten feinwerktechnischen Fertigungsverfahren durch mikrotechnische Prozesse abgelöst werden. Erster Schritt auf dem Weg zu diesem Ziel ist dabei die tiefenlithographische Herstellung der Schrittantriebe durch UV-Strukturierung von SU-8.

#### Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Schmitt, C., Breguet, J.-M.; Bergander, A.; Clavel, R.: Micro Positioning Systems Using Piezo Technology: From Nanometer to Centimeter. 2nd Int. Workshop on Microfactories, 9.-10. Oktober, 2000
- [2] Paros, J. M.; Weisbord, L.: How to design flexure hinges. Machine Design, Vol. 37 (1965), S. 151-156
- [3] Merlet, J.-P.: Parallel Robots. Kluwer, Dordrecht, 2001
- [4] Jungnickel, U.; Eicher, D.; Schlaak, H. F.: Novel Micro-Positioning System Using Parallel Kinematics and Inchworm Actuator Platform. Actuator 2004, 9th International Conference on New Actuators, Bremen, 14.-16. Juni 2004
- [5] Jungnickel, U.; Eicher, D.; Zeyher, P.; Schlaak, H. F.: Planare Schrittantriebe für miniaturisierte Positioniersysteme. 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 2002, Technische Universität Ilmenau, 23.-26. September 2002

#### Autorenangaben:

Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak, Dr.-Ing. Uwe Jungnickel<sup>\*)</sup>, Dipl.-Ing. Dirk Eicher  
 Technische Universität Darmstadt,  
 Institut für Elektromechanische Konstruktionen  
 Merckstr. 25  
 64283 Darmstadt  
 Tel.: 06151/16-2696  
 Fax: 06151/16-4096  
 E-mail: schlaak@emk.tu-darmstadt.de

<sup>\*)</sup> inzwischen bei Braun GmbH, 61976 Kronberg