

# 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>

C. Cermann / T. Frank / R. Theska

## Positionierung im Sub-Micrometerbereich durch Einleitung mechanischer Impulse

### ABSTRACT

Die rasche Miniaturisierung in verschiedenen Bereichen der Technik führt zu einem wachsenden Bedarf hochgenauer Positioniersysteme. In den meisten Fällen ist eine Positionierung mit der Überwindung von Haft- und Gleitreibung verbunden, wobei die Auflösung der Bewegung durch den so genannten Stick-Slip-Effekt begrenzt wird. Das in diesem Artikel beschriebene Antriebsprinzip, welches im Rahmen einer Diplomarbeit im Fachgebiet Feinwerktechnik an der TU-Ilmenau untersucht wurde, nutzt gezielt die Haft- und Gleitreibung bei Bewegungsvorgängen aus, um Schritte in der Größenordnung weniger Nanometer zu erzeugen [1]. Ähnliche Ansätze existieren bereits (vgl. [2] und [3]), bringen jedoch entweder den Bewegungsbereich betreffend oder durch nur geringe bewegbare Massen Nachteile mit sich, die mit dem hier beschriebenen Aufbau umgangen werden. Er besteht aus einem Läufer und einer daran befestigten Antriebseinheit, die eine vorgespannte Schwungmasse und einen Piezoaktuator für deren Auslenkung umfasst. Durch gezielte Ansteuerung des Aktuators kann eine definierte Impulseinleitung auf den Läufer erfolgen, wodurch dieser eine schrittartige Bewegung ausführt. In diesem Artikel wird das Grundprinzip, mit einem Experimentalaufbau durchgeführte Experimente sowie ausgewählte Ergebnisse beschrieben.

### GRUNDPRINZIP

Am Läufer ist die im Verhältnis zur Läufermasse  $m_2$  kleinere Schwungmasse  $m_1$  angebracht und mittels Feder gegen den Läufer gespannt. Der Abstand zwischen Schwungmasse und Läufer kann über den dazwischen angebrachten Piezoaktuator variiert werden. Auf diese Weise wird die Schwungmasse  $m_1$  ausgelenkt. Der Bewegungszyklus eines Schrittes lässt sich prinzipiell in 5 Phasen unterteilen (Abb. 1):

1. Die ruckartige Verkürzung des Piezoaktuators gibt den Beschleunigungsweg für die Schwungmasse ( $m_1$ ) frei.
2. Die Schwungmasse erfährt eine Beschleunigung auf den Läufer ( $m_2$ ) zu, der durch die Haftreibung auf seiner Position gehalten wird.

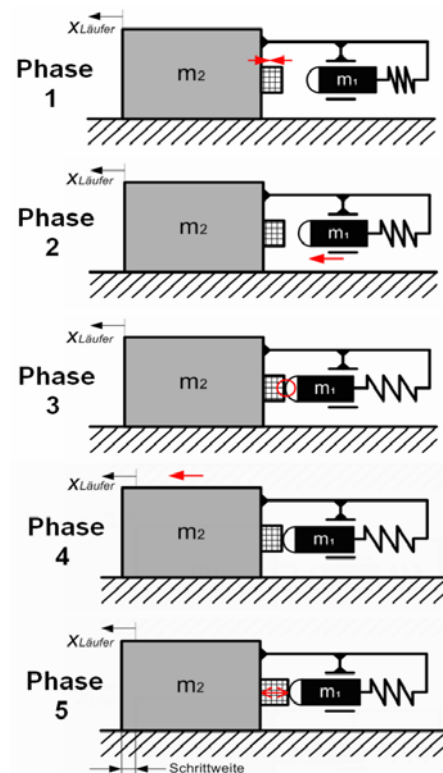


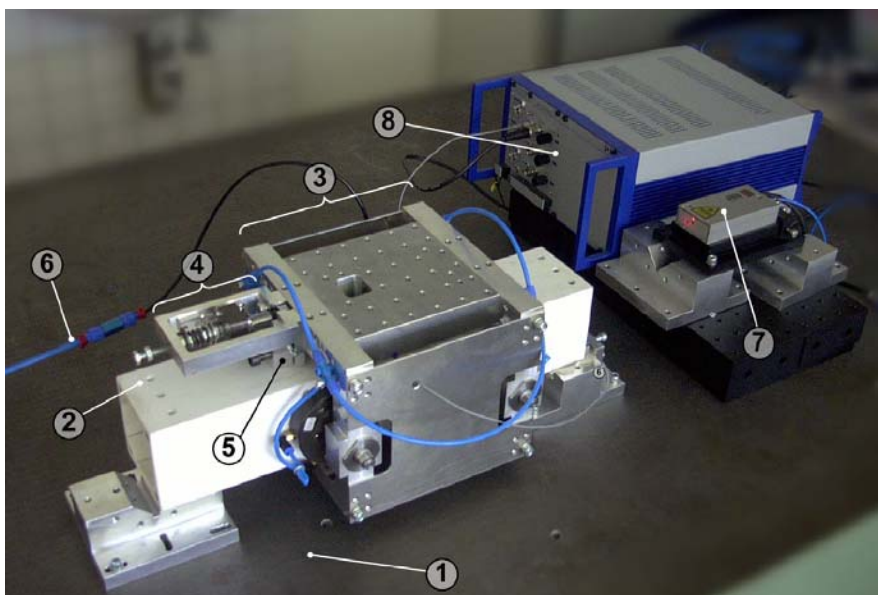
Abb. 1: Bewegungsphasen

3. Die Schwungmasse prallt auf den Läufer und setzt ihn durch die Kraftspitze während der Impulseinleitung in Bewegung.
4. Unter Dissipation der kinetischen Energie erfolgt die Bewegung bis zum Stillstand (Gleitreibung).
5. Bei stillstehendem Läufer expandiert der Piezo (Schwungmassenrückführung).

## VERSUCHSAUFBAU

Damit die Untersuchung des oben beschriebenen Antriebsprinzips zur rein translatorischen Bewegung möglich ist, werden durch den Aufbau alle anderen Bewegungsfreiheiten eingeschränkt. Zusätzlichen Kräfte in Bewegungsrichtung werden durch eine Führung unter Verwendung von Luftlagerelementen vermieden.

Die gestellfeste Reibfläche auf welcher sich der Läufer bewegt, besteht aus einer Aluminiumoxidkeramik mit einer geläppten Oberfläche. Die Reibfläche des Läufers ist aus geschliffenem Stahl. Als Messsystem wird ein Interferometer der Firma SIOS GmbH verwendet, das mit einer höchsten Auflösung von 1,24 nm sehr genaue Messungen ermöglicht. Der eingesetzte Piezoaktor des Herstellers PI erlaubt Längenänderungen bis 45 µm mit einer sehr hohen Dynamik. Um die Auslenkung weiter zu erhöhen wird zusätzlich eine Hebelvorrichtung eingesetzt, die eine Verdreifachung der Auslenkung bewirkt (Versuchsaufbau in Abb. 2).



- 1: gusseiserne Richtplatte
- 2: Führungsschiene
- 3: Läufer
- 4: Antriebseinheit
- 5: Hebelvorrichtung
- 6: Druckluftzuführung
- 7: Interferometer
- 8: Piezoaktorverstärker

Abb. 2: Versuchsaufbau

## EXPERIMENTE

Selbst bei einem einfachen Aufbau üben viele Parameter einen Einfluss auf das Bewegungsverhalten aus. Um die Schrittweite zu verändern, können u.a. folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Änderung des Massenverhältnisses Schwungmasse/Läufermasse
- Veränderung der Federvorspannung der Schwungmasse
- Änderung der Normalkraft des Läufers
- Änderung der Reibwerte für Haft- und Gleitreibung

Auch durch die gezielte Ansteuerung des Piezoaktors kann die Schrittweite sowie die resultierende Geschwindigkeit des Läufers beeinflusst werden. Hierzu zählen:

- die Auslenkung der Schwungmasse
- Frequenz der Ansteuerung
- Die Ansteuerungsform des Piezoaktors (Rechteck, Sägezahn, Sinus,...)

Da diese drei Maßnahmen keinen manuellen Eingriff in das System benötigen, eignen sie sich in Verbindung mit einem Messsystem zum Aufbau einer Regelung.

Es wurden Untersuchungen vorgenommen, bei denen jeweils eine Größe variiert wurde, um deren Einfluss auf das Bewegungsverhalten des Gesamtsystems zu ergründen. Abb. 3 zeigt die Auswirkung einer Veränderung der Spannungsamplitude zur Piezoansteuerung (Sägezahnanregung mit gleicher Frequenz aber unterschiedliche Amplitude), die ein direktes Maß für die Auslenkung des Piezoaktors darstellt. Bei gleicher Spannung, jedoch unterschiedlichen Frequenzen wurde das Diagramm in Abb. 4 ermittelt.

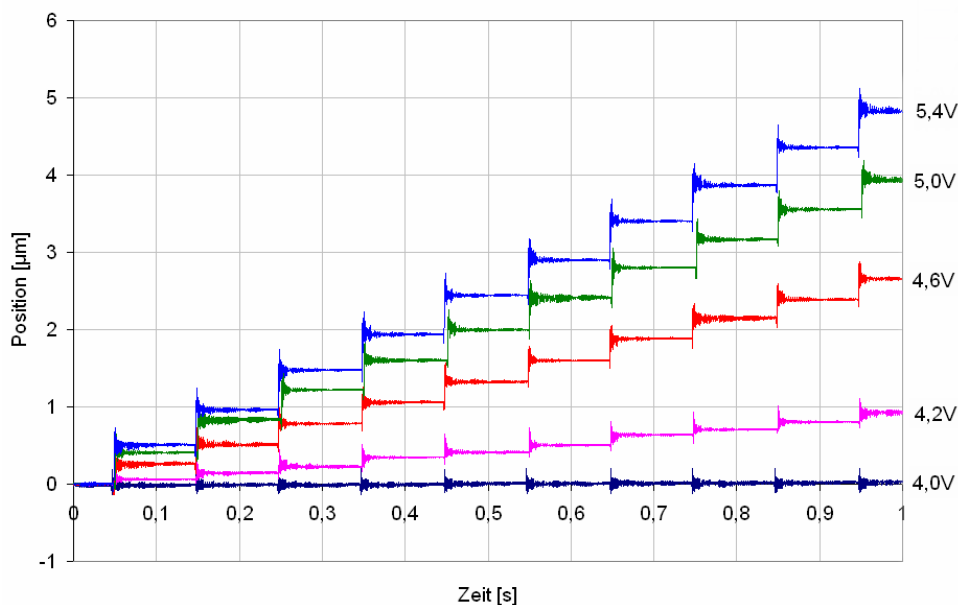


Abb. 3: Weg-Zeit-Kennlinie (Parameter: Amplitude der Piezoansteuerung)

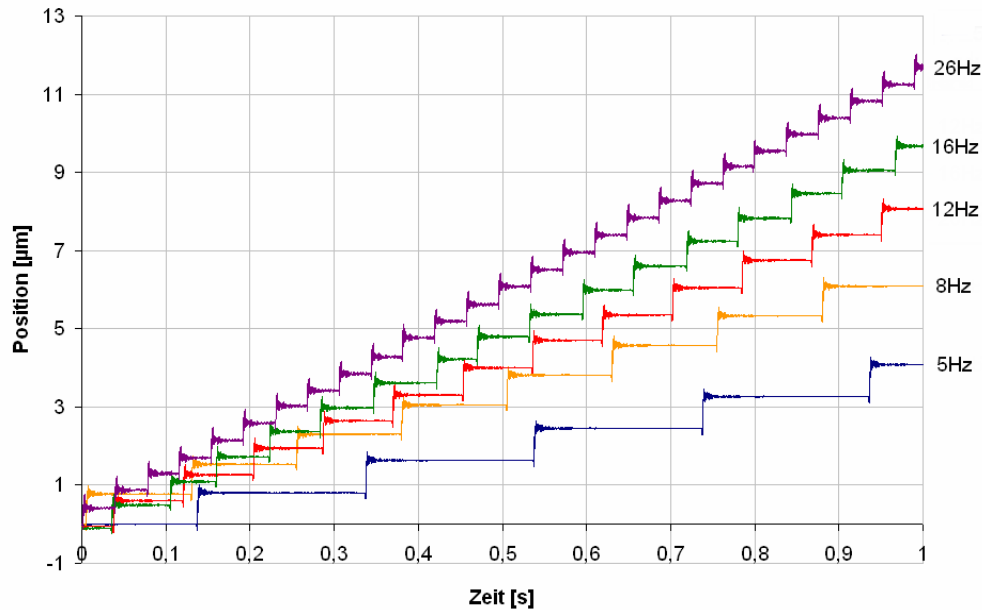


Abb. 4: Weg-Zeit-Kennlinie (Parameter: Frequenz der Piezoansteuerung)

## ZUSAMMENFASSUNG/ERGEBNISSE

Die kleinsten mit dem Versuchsaufbau reproduzierbar generierten Schritte lagen in einer Größenordnung unter 100 nm, die beste Reproduzierbarkeit der Schritte wurde bei einer Schrittweite von ca. 600 nm beobachtet. Mit einer einfachen 3-stufigen Regelung konnte eine 100 µm entfernte Position über 20 Versuche mit einer Positionierabweichung von  $\pm 28$  nm angefahren werden.

Zusammenfassend kann nach der Untersuchung im Rahmen einer Diplomarbeit festgestellt werden, dass dieses Antriebsprinzip durchaus interessante Möglichkeiten für die Positionierung im Sub-Micrometerbereich bietet.

### Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Cermann, C.: Untersuchungen zu Impulsantrieben zur hochgenauen Positionierung, Diplomarbeit, TU Ilmenau, FG Feinwerktechnik 2004
- [2] Higushi, T.; Yamagata, Y.: Micro Impact Drive Mechanism, Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., June 1999, Vol. 33, No. 2, S. 75-78
- [3] Siebenhaar, C.: Precise adjustment method using stroke impulse and friction, Precision Engineering, 2004, Vol. 28, S. 194-20

### Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Christian Cermann  
 Industriestr. 50  
 04229, Leipzig  
 Tel.: 0341 4927663

E-mail:  
 christian\_cermann@hotmail.com

Dipl.-Ing. Tomas Frank  
 TU Ilmenau, FG Feinwerktechnik  
 PF 100565  
 98684, Ilmenau  
 Tel.: 03677 693825

Email:  
 thomas.frank@tu-ilmenau.de

Prof. René Theska  
 TU Ilmenau, FG Feinwerktechnik  
 PF 100565  
 98684, Ilmenau  
 Tel.: 03677 693957

Email:  
 rene.theska@tu-ilmenau.de