

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>

A. Tröbs / E. Gerlach / K. Zimmermann

Untersuchung der Dynamik einer hochgenauen x-y-Verfahreinheit für eine Nanopositionier- und Nanomessmaschine anhand eines Konstruktionsentwurfes

Zusammenfassung

In diesem Beitrag stellen die Autoren Untersuchungen zur Dynamik einer x-, y- Verfahreinheit für eine neue Nanopositionier- und Nanomessmaschine (NPM - Maschine) vor. Dazu wurde das mechatronische System „x-, y- Verfahreinheit“ als Mehrkörpersystem (MKS) modelliert und mittels Simulation das Bewegungsverhalten analysiert.

Um hochpräzise Bewegungsvorgänge mit Nanometerauflösung und –genauigkeit computergestützt zu untersuchen, müssen neue Modellelemente mit erweiterten Eigenschaften eingeführt werden. Schwerpunkt ist dabei die Modellierung der Koppelstellen, da sie die Dynamik des Systems wesentlich beeinflussen und gleichzeitig große Variationsmöglichkeiten in der konstruktiven Gestaltung bestehen. Im Beitrag wird insbesondere auf die funktionsbestimmenden Elemente der untersuchten Konstruktion (z.B. Führungszylinder, die Luftlager, elektromagnetischer Direktantrieb) eingegangen. Die Simulationen erfolgten mit dem Programmsystem alaska® vom Institut für Mechatronik in Chemnitz.

1 NPM-Maschinen, Modellbildung, MKS-Modell, Simulation

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 622 werden an der TU Ilmenau die Grundlagen zur Realisierung von NPM - Maschinen erarbeitet. Eine NPM - Maschine ist eine technologische Ausrüstung, welche die Positionierung, Messung, Antastung, Modifizierung und Manipulation von dreidimensionalen Objekten mit Nanometerpräzision ermöglicht [4].

Voraussetzung für die Modellbildung als MKS und die Simulation des dynamischen Verhaltens ist das Vorliegen einer vollständigen Konstruktion. Dabei ist die Kenntnis der Systemparameter, wie Reibkoeffizienten und Antriebskennlinien von besonderer Bedeutung für die Aussagefähigkeit der Simulationsrechnungen. Aus den erhaltenen Ergebnissen können

Rückschlüsse auf den Einfluss einzelner Komponenten auf das Bewegungsverhalten gezogen werden.

2 Modellbildung einer x-y-Verfahreinheit

2.1 Aufbau der Verfahreinheit

Grundlage für das zu erstellende MKS - Modell ist der in Bild 1 zu sehende Konstruktionsentwurf, der in Zusammenarbeit mehrerer Teilprojekte des SFB für einen Demonstrator erarbeitet wurde. Die Verfahreinheit besteht aus einer x- und einer y-Achse, welche seriell angeordnet sind.

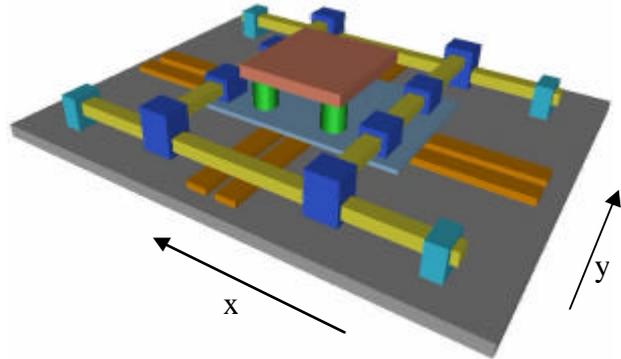


Bild 1: Konstruktionsentwurf [5]

Auf den jeweils zwei Führungszylindern gleiten je zwei Luftlager. Die y-Achse, auf der die Spiegelecke zur Reflexion der Laserstrahlen der Interferometer sitzt, ist elastisch mit der x-Achse verbunden. Der elektromagnetische Direktantrieb sorgt für die erforderlichen Antriebskräfte. Die Angriffspunkte dieser Kräfte liegen deutlich unterhalb des Spiegelschwerpunktes.

2.2 Modellierung der Führungszylinder

In Bild 2 ist das MKS - Modell der Führungszylinder zu sehen. Diese sind über Einspannungen an 3 Stellen fest mit dem Fundament verbunden. Zwischen 2 Einspannstellen hat das Luftlager einen Bewegungsraum von 150 mm. Bei maximaler Auslenkung der Spiegelecke auf der y-Achse und keinem Fahrweg in x-Richtung ist die größte Durchbiegung der Führungszylinder zu verzeichnen. Die Berechnung nach Castigliano ergibt eine Durchbiegung von 28 µm.

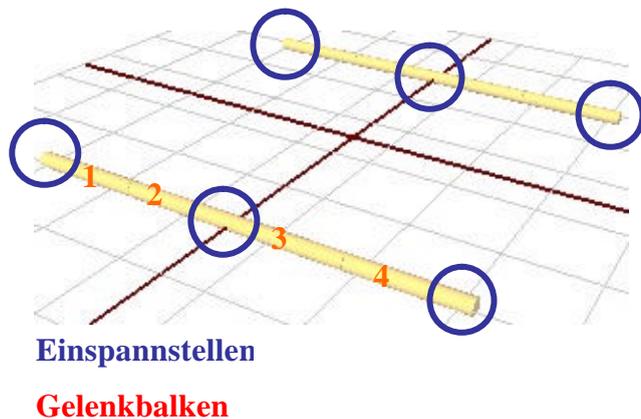


Bild 2: MKS –Modell der Führungs zylinder

$$h_F = \int_{(S)} \frac{M_{bz}}{EI_z} * \frac{\partial M_{bz}}{\partial F} ds = 28 \text{ mm} \quad (1)$$

Bei einer Positionierung im Nanometerbereich ist diese Größe nicht zu vernachlässigen. Deshalb kann als Modellelement kein ideal starrer Körper verwendet

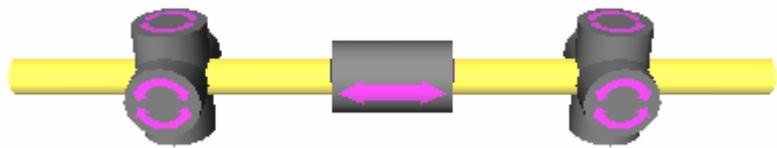


Bild 3: Modellelement Gelenkbalken

werden. Für die Führungszylinder wurde deshalb das Modellelement Gelenkbalken aus der alaska - Programm-bibliothek genutzt. Durch dieses flexible Element wird die Reckung und Biegung der Zylinder in zwei Achsrichtungen nachgebildet, siehe dazu Bild 3. Um eine realitätsnahe Anbindung der Luftlager zu realisieren, besteht ein Führungszylinder aus 4 Gelenkbalken.

2.3 Modellierung der Luftlager

Im Konstruktionsentwurf wurde das in Bild 4 dargestellte Luftlager der Firma NEWWAY BEARINGS S302001 verwendet. Die zur Modellbildung verwendeten Abmessungen und Steifigkeiten sind aus dem Datenblatt entnommen. Ein Luftlager hat wegen des 5 µm großen Luftspaltes den Freiheitsgrad 6. Diese drei translatorischen und drei rotatorischen Bewegungsmöglichkeiten wurden im Modell nachgebildet. Bild 5 zeigt das verwendete Modell für das

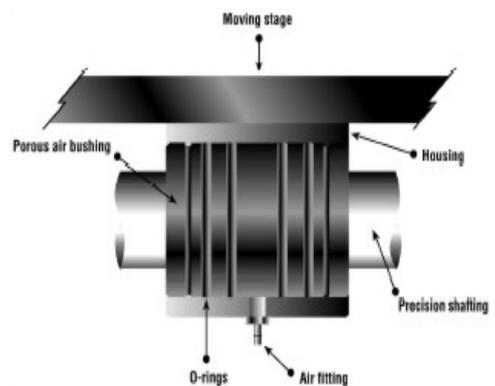


Bild 4: Luftlager [6]

nachgebildete rotatorische Luftlager, in welchem der Innen- und Außenring mit einem Feder - Dämpfersystem mit einander gekoppelt sind.

Damit der Innenring der Durchbiegung der Führungszylinder

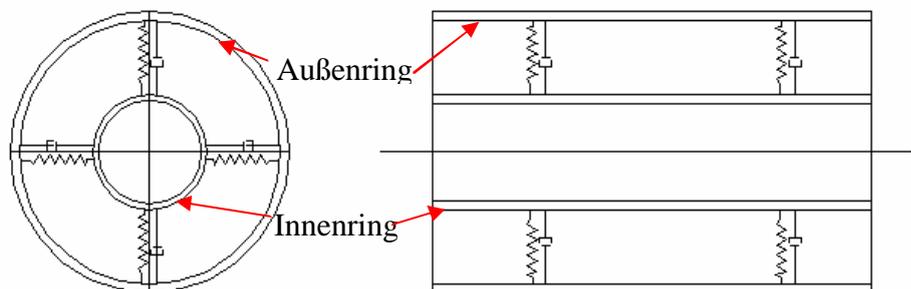


Bild 5: MKS - Modell eines Luftlagers

folgen kann ist dieser

über ein Dreh-, Dreh-, Dreh-, Schubgelenk mit dem Führungszylinder verbunden. Gleichzeitig ist zu gewährleisten, das Innen- und Außenring immer übereinander liegen. Dies wird über eine zusätzliche Zwangsbedingung realisiert.

2.4 Anbindung der y- an die x-Achse

Die y- Achse wurde mit einem Klemmblock einseitig elastisch mit der x-Achse verbunden (siehe Bild 6), um diese Ankopplung möglichst zwangsfrei zu gestalten. Mittels FEM - Rechnung wurde die Federkonstante des Klemmblocks mit $3,05 * 10^6$ N/m ermittelt. Im Modell wird diese elastische Kopplung durch ein Drehgelenk mit hinterlegter Drehfeder verwirklicht.

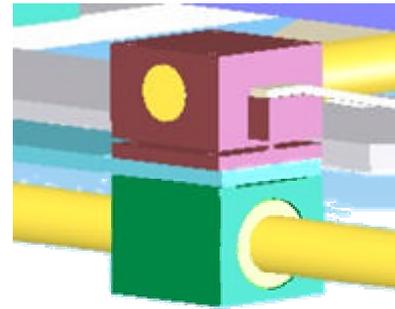


Bild 6: elastische Kopplung zwischen x- und y- Achse

2.5 Modellierung des Gewichtskraftausgleichs

Der Gewichtskraftausgleich wird durch ein Unterstützungsband mit definierter Kopplungslänge zwischen diesem und dem Führungszylinder der y-Achse bewerkstelligt. Dieses Band

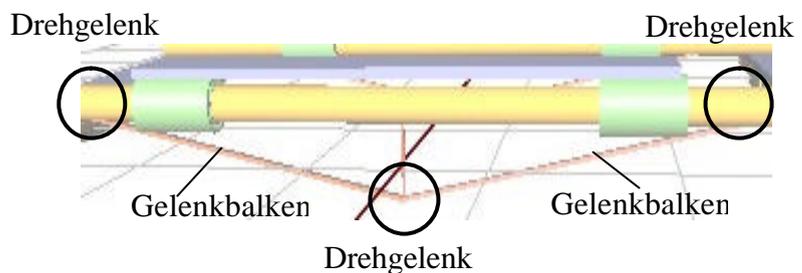


Bild 7: MKS - Modell des Gewichtskraftausgleichs

besteht aus zwei Gelenkbalken, welche über das Drehgelenk 2 verbunden sind. Für die Anbindung an die y-Achse sorgen die Drehgelenke 1 und 2. Ein Sockel unterstützt den Führungszylinder und verbindet das Band mit der y-Achse.

2.6 Antrieb, Gesamtmodell

In Bild 8 ist das Gesamtmodell mit allen Funktionselementen zu sehen.

Zur Berechnung des Bewegungsverhaltens der Verfahrereinheit wird der Antrieb als geregelte Kraft in das

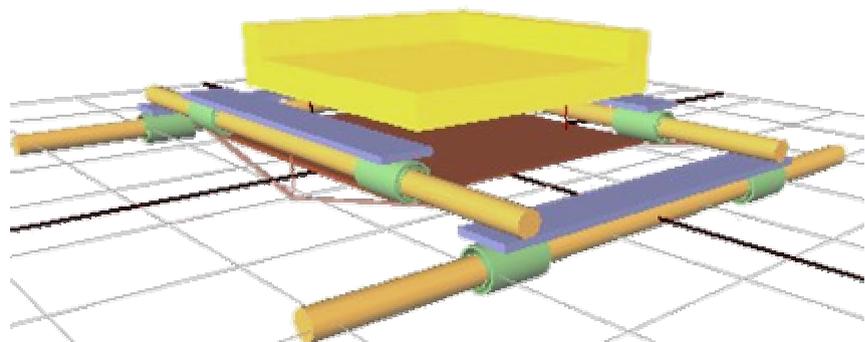


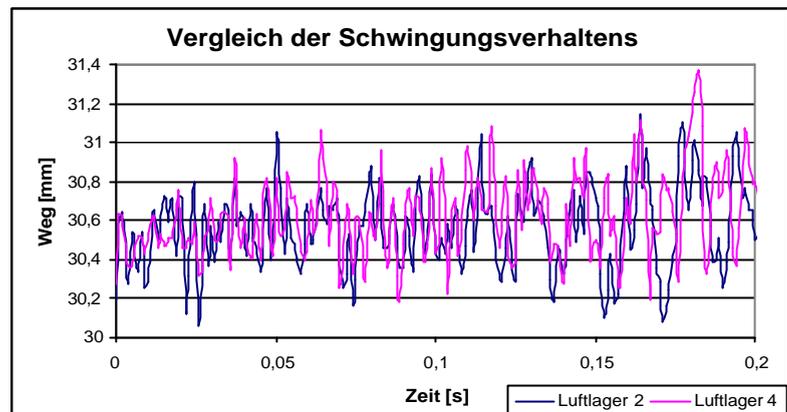
Bild 8: MKS - Modell der x-, y- Verfahrereinheit in alaska

Modell eingepägt. Bei der Realisierung des Antriebes war gleichzeitig zu berücksichtigen, dass sich der Kraftangriffspunkt während der Bewegung verschiebt. Deshalb wird das beim Verfahren der Einheit entstehende Moment zusätzlich aufgebracht.

3 Ergebnisse

3.1 Schwingungsverhalten der Luftlager

Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es, eine Bewertung der Eignung einzelner Funktionselemente für den Einsatz im Demonstrator zu treffen. Bild 9 zeigt die dynamischen Verlagerungen der Luftlager bei einem Verfahren in Richtung der y-Achse. Wobei auf das Luftlager 4 bedingt durch die



Konstruktion der Spiegelecke, ein größerer Anteil der Gewichtskraft wirkt. Deshalb sind die Schwingungsamplituden kleiner als bei Luftlager 2.

Zusammenfassend wird bei der Betrachtung des Schwingungsverhaltens der Luftlager deutlich, dass die auftretenden Amplituden sehr groß sind für eine Positionieranwendung im Nanometerbereich.

3.2 Verhalten der x-, y- Verfahrenheit mit und ohne Gewichtskraftausgleich

Bild 10 zeigt das Schwingungsverhalten der x- und z-Richtung bei Verfahren in y-Richtung mit und ohne Gewichtskraftausgleich. Die Konstruktion mit Gewichtskraftausgleich neigt zu größeren Schwingungsamplituden. Gleichzeitig ist die Verkopplung der einzelnen Achsen untereinander zu sehen. Die Anregung in y-Richtung wird, bedingt durch die Konstruktion, auf

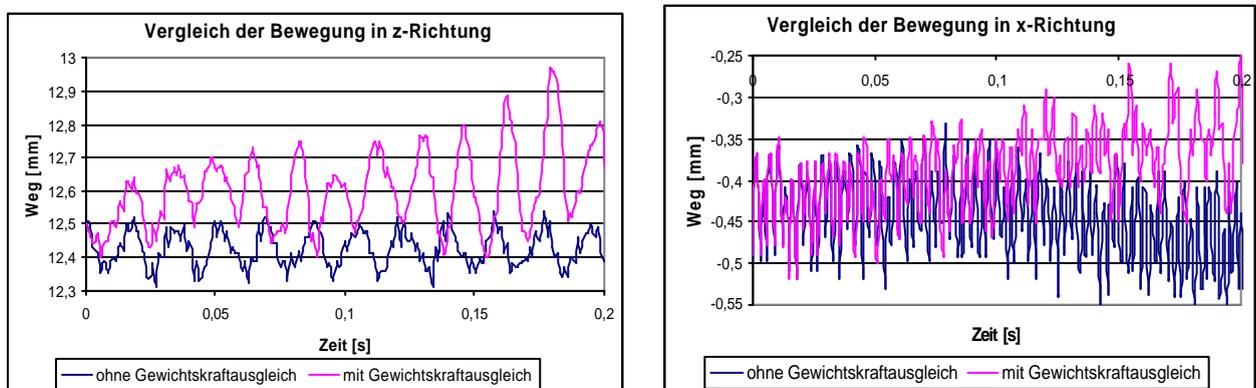


Bild 10: Verlagerung der Spiegelecke in x- und z-Richtung als Funktion der Zeit; mit und ohne Gewichtskraftausgleich

die x-, und z-Richtung weitergeleitet.

4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Ausblick

Die untersuchte x-, y - Verfahrenseinheit wurde als Mehrkörpermodell in alaska simuliert. Dadurch konnte noch im Entwicklungsstadium das Verhalten der Funktionselemente geprüft werden. So konnten die gewonnenen Erkenntnisse für die Änderung des zugrunde liegenden Konstruktionsentwurfes, aber auch für neue weiterführende Modellansätze, verwendet werden.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die Verfahrenseinheit in hohem Masse schwingungsanfällig ist und eine niedrige Eigenfrequenz besitzt. Da diese beim Anfahren des Antriebs angeregt wird, kann es zu Resonanzerscheinungen und damit zum Aufschwingen des gesamten Systems kommen. Dies ist vorrangig durch die Luftlager aber auch durch die Konstruktion der Koppelstellen bedingt. Die vorgeschlagene Variante zum Verfahren der Spiegelecke über Luftlager und Führungszylinder sollte für die Aufgabenstellung einer hochgenauen Positioniereinheit nochmals kritisch überprüft werden.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Gerlach, E.: Simulation von geregelten Mehrkörpersystemen, Konferenz Dresdener Tagung, Simulation im Maschinenbau – Softwaretools und Anwendungen, 24.-25.02.2000, Dresden, Tagungsband, S. 607-614, ISBN 3-86005-244-6 (Referenzen: Times 8pt)
- [2] Gerlach, E.; Zimmermann, K.; Steffen, O.: Computergestützte Simulation der Dynamik einer Nanopositionier- und Nanomeßmaschine, Sensoren und Messsysteme 2004, Ludwigsburg, VDI-Bericht 1829, ISBN 3-18-091829-2
- [3] Zimmermann, K.; Grabow, J.; Gerlach, E.; Tröbs, A.; Zeidis, I.; Behn, C.: Virtual Prototyping of Nanopositioning- and Nanomeasuring Machines using Methods of Multi-body System Dynamics, Proc. of the 8th Intern. Conference on Mechatronics Technology, Hanoi, 2004]
- [4] SFB 622 Kolloquium, Begutachtung 03.03.2005, Gesamtübersicht Prof. Jäger
- [5] SFB 622 Kolloquium 3.3.2005
- [6] Newway bearings, Cylindrical Air Bushings 1-800-394-1046, 2004 New Way Precisions

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. A. Tröbs
Dr.-Ing. E. Gerlach
Univ.-Prof. Dr.-Ing.habil. K. Zimmermann
TU Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau
PF 10 05 65
98684 Ilmenau
Tel.: ++49 3677 469045
Fax: ++49 3677 469060
E-mail: anita.troebs@tu-ilmenau.de