

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>

T. Hackel / T. Frank / M. Lotz / R. Theska / G. Höhne

Aktorintegrierte feinwerktechnische Funktionselemente

ABSTRACT

Feinwerktechnische Funktionselemente stellen passive mechanische Baugruppen dar, welchen eine informationstechnische Aufgabe zukommt und die dadurch hochpräzise arbeiten müssen. Im Zuge der Entwicklung von Nanopositionier- und Nanomessmaschinen stößt die Leistungsfähigkeit dieser Elemente an z.B. ihre fertigungs- oder dynamikbedingten Grenzen. Redundante Aktoren bieten die Möglichkeit auf ansonsten passive Funktionselemente Einfluß zu nehmen, um die gewünschte Hauptfunktion der Funktionsgruppe positiv zu unterstützen. Dabei kann mit einem erhöhten Regelungs- und Steueraufwand die Leistungsfähigkeit der Struktur hinsichtlich ihrer Hauptfunktion gesteigert werden. Im Paper wird dies am Beispiel einer Linearachse demonstriert.

EINLEITUNG

Die Nanopositionier- und Nanomesstechnik strebt immer größere Arbeitsräume und Messvolumen an. An der Technischen Universität Ilmenau wird z.B. an der Entwicklung einer Maschine mit einer Positionier- und Messunsicherheit von einigen 10nm und einem Arbeitsraum von 200x200x15mm³ gearbeitet. Dabei wird es immer schwieriger Gesamtstrukturen und funktionelle Komponenten zu finden, welche diesen gesamten Bereich abdecken können und gleichzeitig eine hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit erzielen. Im Folgenden wird das anhand einer luftgellagerten Führung gezeigt.

HERANGEHENSWEISE

Führungen sind Funktionselemente welche eine translatorische Bewegung i.A. entlang einer Leitgeraden zulassen und alle anderen relativen Freiheitsgrade der beteiligten Komponenten sperren. Die Gruppe der Führungen lässt sich u.a. in die zwei Untergruppen der stoffschlüssigen und mehrteiligen Führungen teilen. In der Feinwerktechnik werden stoffschlüssige Führungen immer dann bevorzugt, wenn eine hohe Präzision erforderlich ist. Sie besitzen gegenüber den mehrteiligen Elementen nicht den auf äusserer Reibung zurückzuführenden Stick-Slip-Effekt. Fertigungstechnisch vermeiden sie z.B. die hohe Anforderung an die Homogenität einer Lauffläche hinsichtlich Formhaltigkeit, physikalischer Beschaffenheit sowie tribologischer Eigenschaften. Weiterhin bestehen sie prinzipiell aus Lenkergetrieben. Diese Stabwerksanordnungen mit flexiblen

Gelenken als Koppelstellen besitzen eine hohe strukturelle Steifigkeit. Das bedeutet, dass die Getriebeglieder keine Momente übertragen müssen und nur auf Zug/ Druck beansprucht werden. Dadurch kann mit geringem und günstigen Material- und Masseaufwand die durch äussere Störkräfte hervorgerufene Deformation relativ gering gehalten werden. Stoffschlüssige Führungen beinhalten jedoch einen gravierenden Nachteil hinsichtlich der mit erträglichem Aufwand erzielbaren Führungswege, wodurch für oben genannte anzustrebende Führungswege sich auch wieder mehrteilige Führungen anbieten. Es muss jedoch ein Weg gefunden werden, welcher die Leistungsfähigkeit dieser Elemente steigert. Will man eine extreme Präzision erreichen, muss die Steifigkeit der verwendeten Führung gegenüber Querkräften entsprechen hoch sein. Neben den Einzelsteifigkeiten der beteiligten Elemente und auch Koppelstellen (Hertz'sche Pressung) spielt hier auch die i.A. Biegebeanspruchung der Führungsschiene eine große Rolle. Dieser Belastungsfall ist mit ungünstigem Deformationsverhalten verbunden. Um den Einfluss von Störungen (Zusatzlasten, Wanderlasten, etc.) klein zu halten muss bei der technologisch begrenzten Materialauswahl das Flächenträgheitsmoment der Struktur ausreichen hoch gewählt werden. Dies wird bei der angestrebten Genauigkeit letztendlich auf einen dynamisch nicht tolerierbaren Massezuwachs hinauslaufen.

Im Folgenden soll ausschliesslich als Beispiel eine Luftlagerführung aus kommerziellen Komponenten der Firma Newway® Air Bearings betrachtet werden. Verwendet werden als Führungselemente zwei Airbushing S302001 inklusive Mounting Block S8019P02, zugehöriger Bushing Shaft S90S012 Ø20x580 und Shaft End Mounts S8020E02. „Air bushings“ stellen aerostatische geführte Laufbuchsen dar. Die Luftversorgung des Tragspalt es erfolgt über einen porösen rotationssymmetrischen Kunstkohleeinsatz. Der Vorteil der Anordnung besteht darin, dass auf Grund der Symmetrie eine zusätzliche Vorspannungseinrichtung entfallen kann. Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau des Führungselementes.

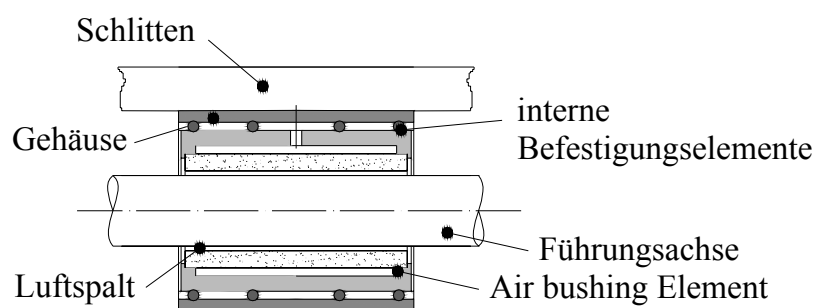


Abb. 1 „Air Bushing“- Aufbau

Die größten Weichheiten im Element sind der Luftspalt mit einer werksseitig angegebenen radialen

Steifigkeit von $18 \text{ N}/\mu\text{m}$ und die Montagehilfen aus Gummi, welche als innere Befestigungselemente dienen. Die Anordnung ist selbst nicht rotationsgesperrt und muss die Führungsachse vollständig umgreifen.

Die Führung wird im Versuchsaufbau durch einen Schlitten mit luftgelagerter Verdreh Sperre vervollständigt. Die Positionslageerfassung des Läufers erfolgt mittels Interferometerantastungen. Zur Abschätzung des zu erwartenden Einflusses von Kräften auf die Anordnung wurde eine FEM-Analyse der Führungsachse mit zugehörigen Einspannelementen durchgeführt. Die Grundflächen der Lagerböcke wurden wie in Abb. 2 dargestellt ideal eingespannt.

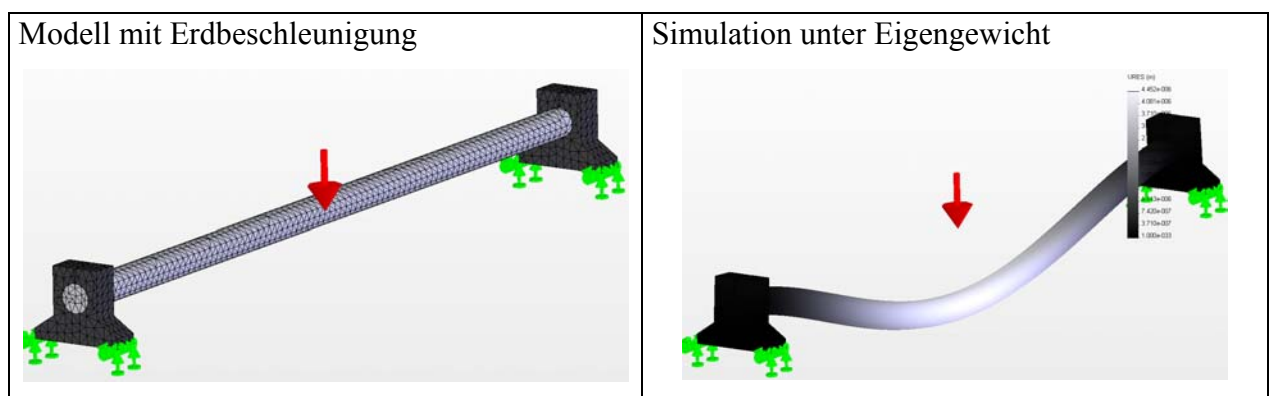


Abb. 2 FEM- Analyse der Führungsschiene

Das Ergebnis zeigt, dass eine maximale elastische Durchbiegung ohne Last von ca. $5 \mu\text{m}$ mehrere Größenordnungen über einer zu erreichenden Nanometer- Positionsunsicherheit liegt. Die Gewichtskraft der Stange entspricht ca. 14 N . wodurch sich als oberer Grenze eine Führungssteifigkeit von $3 \text{ N}/\mu\text{m}$ annehmen lässt. Wie bereits vermutet zeigt sich die auf Biegung beanspruchte Bahn als größte Weichheit im System.

In den Größenordnungen der angestrebten kleinsten Positionierschritte stellt die Führung somit keine stabile Basis für das geführte Teil mehr dar. Es entstehen Positionierfehler, welche auf zufällige Störkräfteinwirkungen und unbekannte systematische Fehler zurückzuführen sind. Eine erreichte Fertigungsqualität der Stange lässt sich nicht mehr auf den Schlitten übertragen. Andererseits zeigt diese Studie aber auch, dass die Führungsachse in diesen Wegbereichen frei beweglich ist und somit einen elastischen Mechanismus darstellt. Es ist also möglich, ohne hohen zusätzlichen konstruktiven Aufwand ein weiteres Antriebssystem zu integrieren, welches die Querverlagerung des Schlittens einstellbar gestaltet.

Abb. 3 zeigt das verwendete Prinzip:

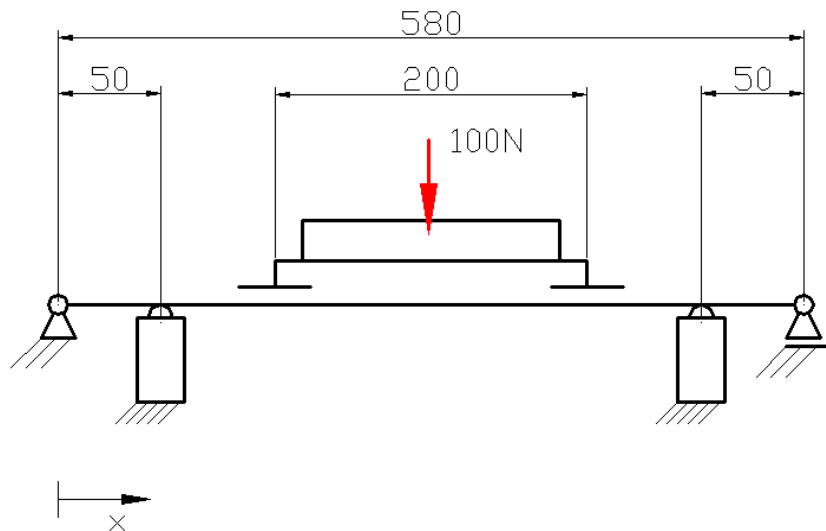


Abb. 3 Prinzip der Führungsfehlerkompensation

Es werden Piezoaktoren in Querrichtung an die Führungsstange angebracht. Sie befinden sich nahe der Einspannstellen des "Balkens", wodurch sie nicht den Bewegungsbereich des Läufers einschränken. In der Darstellung sind sinnvolle Größen angegeben, welche sich aus dem späteren Anwendungsfall herleiten. Es entsteht ein neues Antriebssystem, welches redundant genannt werden soll, da es nicht zur Erfüllung der Hauptfunktion dient.

Die folgenden Darstellungen in Abb. 4 verdeutlichen die ideale Biegelinie der Führung bei der Wirkung der zusätzlichen Aktoren an verschiedenen Positionen des Schlittens. Auf diese Weise wird die Nachgiebigkeit der Führung kompensiert, indem die „Aufstellpunkte“ des Schlittens an der gewünschten Position in Querrichtung gehalten werden. Die (ideal) notwendigen Bewegungsbereiche der zusätzlichen Aktoren sind auch der Abb. 4 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass Piezoaktoren diese Aufgabe erfüllen können. Die Geradheit und Steifigkeit der Führung spielt keine Rolle mehr, sondern nur noch die tatsächliche Position des Wirkelements. Dabei wird es notwendig die Lage des Abtriebs ständig zu kennen. Die passive Leitlinienvorgabe der Schiene wird durch die eines stabilen und störkraftunabhängig Messsystems ersetzt. Im Versuchsaufbau geschieht das durch eine doppelte Interferometerantastung an einer am Schlitten angebrachten Spiegelleiste.

Position x	Biegelinie (Größenangaben in mm)
180	
250	
400	

Abb. 4 Idealer angestrebter Biegelinienverlauf der Führungsschiene

Zu Testzwecken wurde im Versuchsaufbau auf den Führungsschlitten über einen Exzenter eine zeitvariable Kraft der Form:

$$F(t) = 5N + 5N \sin(3,5 t)$$

aufgeprägt. Mittels einer einfachen PI- Reglerstruktur wurde die Leistungsfähigkeit der Anordnung am Versuchsstand getestet.

Ein typisches Ergebnis der Versuchsdurchführung zeigt Abb. 5., in der anhand der zwei Graphen die zeitabhängige relative Auslenkung der durch die Interferometer angetasteten Messpunkte am Schlitten dargestellt sind. Es sind im Diagramm drei Phasen zu erkennen. Zu Beginn der

Aufzeichnung ist die Führung im unbelasteten ruhendem Zustand. Danach wurde zeitabhängig eine Kraft eingeprägt. Die Führung reagiert darauf mit Verformungen und Querabweichungen des geführten Teiles. Nach Zuschalten der Regelung wird dieser Effekt um ein Vielfaches minimiert.

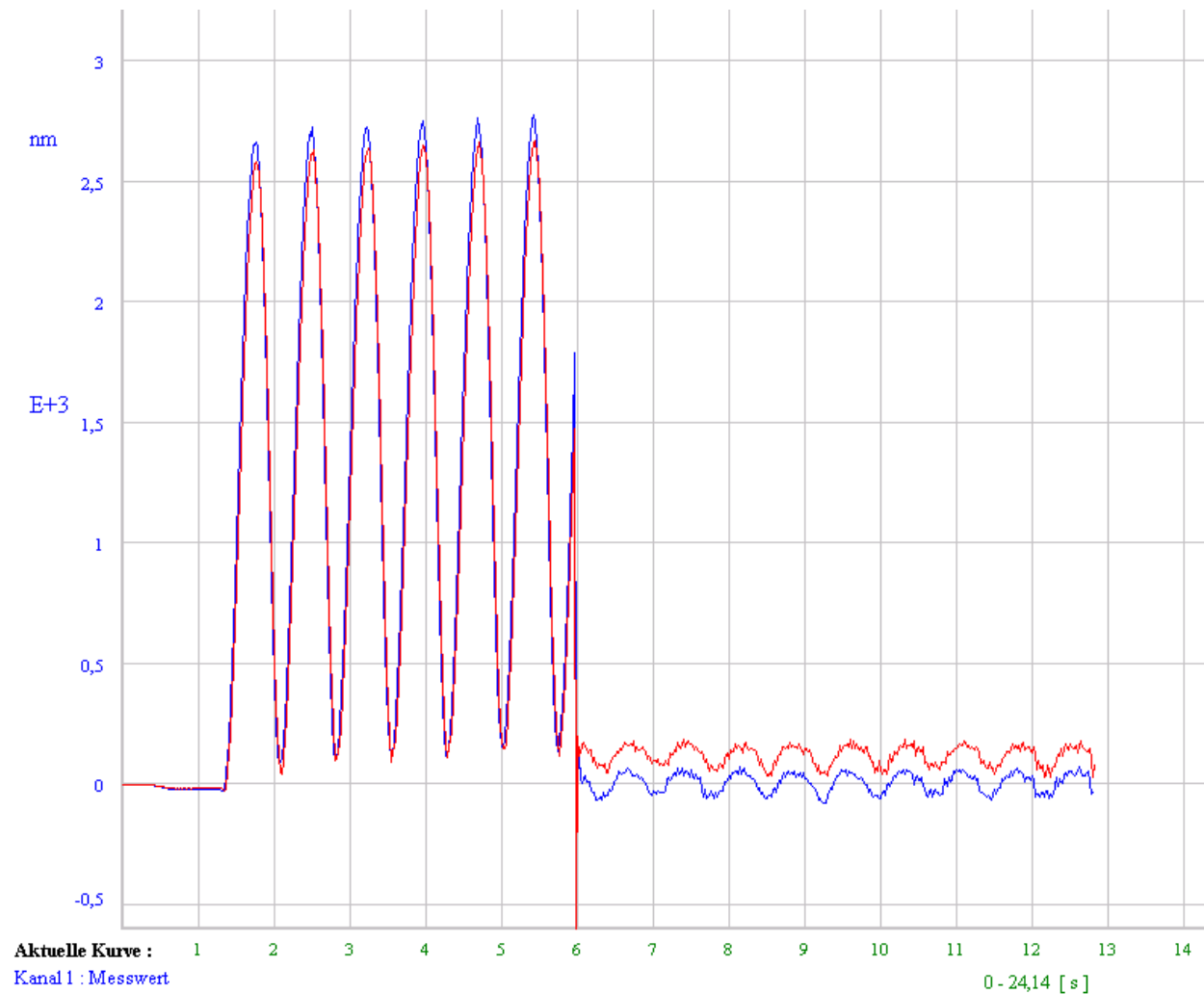


Abb. 5 Führung unter Störkrafteinfluss im unregelmäßigem und geregelmäßigem Zustand

ERGEBNIS

Der vorliegende Beitrag zeigt eine Möglichkeit auf, wie dynamischen Verformungen von Führungen in Nanopositioniermaschinen begegnet werden kann. Vorteile des vorgestellten Prinzipes sind, dass eine Steifigkeitserhöhung eintritt, welche nicht mit einem großen Massezuwachs der gesamten Positionierachse verbunden ist. Weiterhin wird der benötigte Führungsweg nicht eingeschränkt.

Autorenangabe(n):

Dipl.-Ing. Tobias Hackel **

Dipl.-Ing. Thomas Frank **

Dipl.-Ing Markus Lotz *

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Höhne *

Univ.-Prof. Dr.-Ing. René Theska **

Technische Universität Ilmenau

Fakultät Maschinenbau

Fachgebiet Konstruktionstechnik *

Fachgebiet Feinwerktechnik **

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

Tel.: +493677 69 39 60

Fax: +493677 69 38 23

E-mail: tobias.hackel@tu-ilmenau.de