

# Hybride Mehrkörpersysteme als Modellierungsansatz für Präzisionsmaschinen

Erik Gerlach, Bernd Fiedler

TU Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Ilmenau

erik.gerlach@tu-ilmenau.de

## Zusammenfassung

Stand der Technik bei der Untersuchung der Dynamik von Präzisionsmaschinen ist die computergestützte Simulation. Die notwendigen Modelle dafür werden als Mehrkörpersystem (MKS) aufgebaut. Jedoch stellt sich bei der Modellbildung die Frage nach der Berücksichtigung der Elastizitäten im System. Dazu bietet die Einbeziehung nachgiebiger Strukturen im Rahmen hybrider MKS einen effizienten Ansatz. Der Bearbeiter verbleibt dabei in der Programmumgebung des MKS-Simulationstools. Im Beitrag wird anhand von Beispielen aus der Arbeit der Autoren im Sonderforschungsbereich 622 das Vorgehen bei der Modellierung von Nanomess- und Nanopositioniermaschinen vorgestellt.

## 1 Einleitung

Für die Simulation der Dynamik von Maschinen, so auch bei Nanomess- und Nanopositioniermaschinen wird in der Regel das mechanische System als Mehrkörpersystem modelliert. Es stellt sich jedoch bei der Modellbildung die Frage nach der Berücksichtigung der Elastizitäten im System. Die Standardlösung in der Mehrkörperdynamik ist die Konzentration in einem Parameter bzw. in einer (Steifigkeits-) Matrix. Dabei können diese Größen durchaus zeitabhängige und auch nichtlineare Funktionen darstellen. Bei real vorhandenen konstruktiven elastischen Elementen (z.B. Federn) ist die Modellbildung als konzentriertes Element folgerichtig. Was ist aber, wenn die Körper des Systems selbst elastisch sind? So ist die Frage nicht richtig gestellt, denn jeder reale Körper hat auch elastische Eigenschaften. Richtig ist eher die Frage, ab wann muss bei der Modellierung von Mehrkörpersystemen die Annahme von starren Körpern fallengelassen werden und der Übergang zum hybriden MKS vollzogen werden muss. Nach Auffassung der Autoren ist dies immer notwendig, sobald die elastischen Verformungen in der gleichen Größenordnung wie die angestrebte Positioniergenauigkeit liegen. Dies ist bei vielen Präzisionsmaschinen mit Genauigkeiten im  $\mu\text{m}$ -Bereich der Fall. Einige Ansätze zur Berücksichtigung der strukturellen Elastizitäten sollen im Weiteren diskutiert und ihre Nutzung gezeigt werden.

## 2 Methodik

Für die Beschreibung des Verhaltens elastischer Strukturen mit verteilten Massen und Elastizitäten kommt die Modellierung als Kontinua zum Zuge. Das bedeutet jedoch, dass partielle Bewegungsdifferentialgleichungen zu lösen sind. Einen Ausweg bietet die Nutzung modalgleicher Strukturen, die es erlauben in der Simulationsumgebung für MKS-Modelle wie adams oder alaska zu bleiben. Im Simulationstool alaska stehen dafür ebene und räumliche Gelenkbalken (geometrisch und physikalisch gekoppelte starre Teilkörper) dem Benutzer zur Verfügung. Ein Beispiel für die Nutzung von Gelenkbalken ist in [1] dargestellt, siehe Abbildung 1 (links). Hier bot sich durch die konstruktive Gestaltung eine sinnvolle Aufteilung an. Bei räumlich ausgedehnten Strukturen, wie z.B. Platten wird jedoch der Freiheitsgrad sehr hoch.

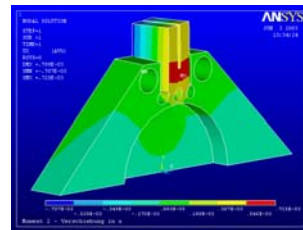
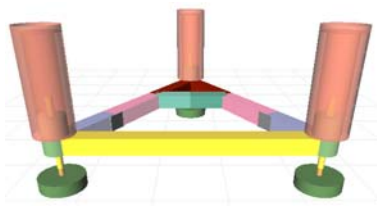


Abbildung 1: Zerlegung eines Gestells in Gelenkbalken (links) und Berechnung einer Federkonstante mittels FEM (rechts)

Weitere Möglichkeiten numerisch lösbare Modelle zu erstellen sind u.a.:

- das Verfahren der Übertragungsmatrizen,
- die Ansätze nach Rayleigh und Ritz und
- die Finite-Elemente-Methode (FEM).

Für viele Simulationen werden die Modellstrukturen und Berechnungsergebnisse aus Finite-Elemente-Berechnungen in die MKS-Modelle implementiert. Für komplizierte Geometrien entstehen jedoch sehr große Modelle, die für eine direkte Übernahme nicht geeignet sind. Eine Lösung ist, mittels FEM-Programm Kraft-Weg bzw. Moment-Winkel-Kennlinien zu ermitteln (Abbildung 1 rechts). Diese Ergebnisse können z.B. in alaska mit dem Bushing-Element (räumliches Feder-Dämpfer-Element) eingebunden werden. Ist dies aufgrund der zu modellierenden Struktur nicht möglich, bietet sich das Verfahren der modalen Reduktion an, um ein handhabbares Modell zu generieren.

Welcher Weg zur Berücksichtigung elastischer Strukturen gewählt wird, hängt letztendlich im großen Maße von der erwarteten Realitätsnähe des Simulationsmodells ab.

## Literatur

- [1] Gerlach, E.; Tröbs, A.; Zimmermann, K.: *Erstellung eines Simulationsmodells zur computergestützten Untersuchung der Dynamik einer z-Achse für Nanopositionier- und Nanomessmaschinen*, Elektrisch-mechanische Antriebssysteme 2006, VDI-Bericht 1963, Böblingen, 2006
- [2] Gerlach, E.; Zimmermann, K.; Steffen, O.: *Computergestützte Simulation der Dynamik einer Nanopositionier- und Nanomessmaschine*, Sensoren und Messsysteme 2004, VDI-Bericht 1829, Ludwigsburg, 2004