

## Masterarbeit

# Der Starrkörper als gebundenes mechanisches System: Alternative Formulierungen und strukturerhaltende Integration

*The rigid body as a constrained mechanical system: Alternative formulations and structure-preserving integration*

Die Dynamik des starren Körpers kann als mechanisches System mit holonomen Bindungen beschrieben werden [2]. Somit liegt ein gebundenes mechanisches System vor, das leicht auf Mehrkörpersysteme (MKS) verallgemeinert werden kann. Die Direktorformulierung starrer Körper in [2] beruht auf der Verwendung redundanter Koordinaten, die den Elementen der Rotationsmatrix entsprechen. Sie eignet sich besonders gut für die Erweiterung auf MKS [1]. Die Trägheitseigenschaften der Direktorformulierung werden mit Hilfe des Eulertensors formuliert. Die Bewegungsgleichungen ergeben sich als differential-algebraische Gleichungen (DAEs) mit konstanter Massenmatrix. Eine alternative Direktorformulierung, die auf der direkten Verwendung des klassischen Trägheitstensors beruht, wird in [3] beschrieben. Es ergeben sich wieder DAEs, allerdings ist nun die Massenmatrix konfigurationsabhängig.

In der Masterarbeit sollen beide Formulierungen gegenübergestellt und verglichen werden. Die numerische Integration der Bewegungsgleichungen soll in beiden Fällen mittels variationellem Integrator erfolgen. Vor- und Nachteile der beiden alternativen Direktorbeschreibungen sollen insbesondere im Rahmen geeigneter numerischer Beispiele, siehe beispielsweise [5, Sec. 6], ermittelt werden.

### Arbeitsplan

Im Rahmen der Masterarbeit ist folgender Arbeitsplan vorgesehen:

- a) Einarbeitung in die beiden alternativen Direktorformulierungen [2, 1] und [3].
- b) Numerische Implementierung der beiden Starrkörperformulierungen unter Verwendung des strukturerhaltenden variationellen Integrators aus [4].
- c) Auswertung und Vergleich im Rahmen von geeigneten numerischen Beispielen, u.a. [5, Sec. 6].
- d) Optional: Die Formulierung von [3] stellt den Ausgangspunkt für eine Modifikation der Massenmatrix in [6, Sec. 4.2.2] dar. Diese Modifikation soll bei vorgegebenem Zeitschritt eine Verbesserung der Genauigkeit sowie eine Verringerung der Newton-Iterationen ermöglichen.

## Voraussetzungen

Numerische Strukturodynamik, Programmierkenntnisse in MATLAB.

## Ansprechpartner

Peter Betsch (peter.betsch@kit.edu),  
Simeon Schneider (simeon.schneider@kit.edu) und  
Timo Ströhle (timo.stroehle@kit.edu)

## Bearbeiter/-in

Name: Vorname Nachname  
Matr.-Nr.: 170000

## Termine

Ausgabedatum: DD.MM.YYYY  
Soll-Abgabedatum: DD.MM.YYYY  
Ist-Abgabedatum: DD.MM.YYYY  
Vortrag gehalten am: DD.MM.YYYY

## Literatur

- [1] P. Betsch and N. Sanger. On the consistent formulation of torques in a rotationless framework for multibody dynamics. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 127:29–38, 2013.
- [2] P. Betsch and P. Steinmann. Constrained integration of rigid body dynamics. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 191:467–488, 2001.
- [3] S. Krenk and M. Nielsen. Conservative rigid body dynamics by convected base vectors with implicit constraints. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 269:437–453, 2014.
- [4] S. Leyendecker, J. Marsden, and M. Ortiz. Variational integrators for constrained dynamical systems. *Z. Angew. Math. Mech. (ZAMM)*, 88(9):677–708, 2008.
- [5] M. Rubin. A simplified implicit Newmark integration scheme for finite rotations. *Computers and Mathematics with Applications*, 53(2):219–231, 2007.
- [6] X. Xu, J. Luo, and Z. Wu. Extending the modified inertia representation to constrained rigid multibody systems. *ASME J. Appl. Mech.*, 83(1):1–15, 2020.