

# Operatorinferenz angewandt auf restringierte mechanische Systeme

**Y. Filanova\***, **J. Saak†**, **I. Pontes Duff‡**, **P. Benner‡**

\* Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg, Deutschland,  
Tel: ++49(0)391/6110 345, E-Mail: filanova@mpi-magdeburg.mpg.de

† Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg, Deutschland,  
Tel: ++49(0)391/6110 216, E-Mail: saak@mpi-magdeburg.mpg.de

‡ Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg, Deutschland

Mechanische Systeme mit Zwangsbedingungen kommen, beispielsweise bei der Modellierung von Robotern und anderen Mehrkörpersystemen, in vielen Anwendungen vor. In diesem Fall wird die Bewegung durch ein System von differenziell-algebraischen Gleichungen (DAE) beschrieben, oft mit großen und dünn-besetzten Systemmatrizen. Da die Rechenressourcen in der Regel stark begrenzt sind, hat die Problemdimension dabei einen großen Einfluss auf die Effektivität und Durchführbarkeit von Simulationen für die Systemanalyse, Optimierung, Regelung und Steuerung. Daher streben wir ein vereinfachtes Ersatzmodell mit wenigen Zustandskomponenten, d. h. Freiheitsgraden, an, das die Bewegung und andere wichtige Eigenschaften des ursprünglichen hochdimensionalen DAE-Modells genau genug darstellen kann.

Klassische Methoden zur Modellordnungsreduktion nutzen die Systemmatrizen intrusiv, um die Projektion des hochauflösenden Modells auf einen niedrigdimensionalen Unterraum zu konstruieren. In der Praxis sind die dynamischen Gleichungen aber häufig ein unzugänglicher oder schwer zugänglicher Teil proprietärer Softwareprodukte. Es besteht also Bedarf an äquivalenten modellfreien Reduktionsansätzen, um reduzierte Modelle nur unter Verwendung der direkt zugänglichen Simulationsdaten zu generieren.

Dieser Beitrag präsentiert eine Anwendung der nicht-intrusiven Operatorinferenzmethode (OpInf) auf propere DAE-Systeme mit Index-2 und -3. Berücksichtigend, dass es für propere DAEs eine ODE-Realisierung auf der sogenannten versteckten Mannigfaltigkeit gibt, liefert das OpInf-Optimierungsproblem direkt eine ODE-Realisierung des gegebenen DAE-Systems im reduzierten Unterraum. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die reduzierten Systemmatrizen direkt aus den DAE-Lösungsschnappschüssen (in komprimierter Form) identifiziert werden. Die Stabilität und Interpretierbarkeit des reduzierten Modells wird durch Erzwingen der symmetrisch positiv definitiven Struktur der Systemoperatoren unter Verwendung der semidefiniten Programmierung gewährleistet. Die numerischen Resultate demonstrieren die Implementierung der vorgeschlagene Methodik für verschiedene Mechanische Systeme mit Zwangsbedingungen, die unter variierenden Belastungsbedingungen evaluiert wurden.

## Literatur

- [1] Benner, P.; Filanova, Y.; Pontes Duff, I.; Saak, J.: Application of operator inference to reduced-order modeling of constrained mechanical systems, arxiv:2507.05472, math.DS, 2025.