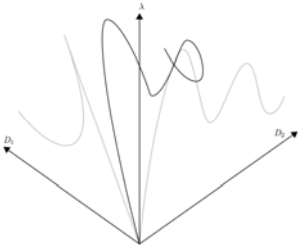


# Pfadverfolgungsmethoden für nichtlineare Stabilitätsanalysen

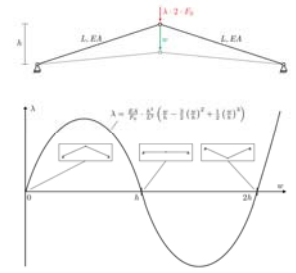
Florian Geiger



Räumlicher Gleichgewichtspfad

## Motivation

- Erweiterung der Pfadverfolgungsalgorithmen in NumPro auf nichtlineare Schalenprobleme
- Untersuchung verschiedener Beispiele
- Vergleich mit kommerzieller Software



Gleichgewichtspfad eines 3-Gelenk-Tragwerks

## Vorgenommene Erweiterungen in NumPro

- Optimierung der implementierten Kontrollroutinen um Abstürze durch numerische Probleme zu vermeiden
- Erweiterung der Bogenlängenkontrolle um Verschiebungslastfälle
- Erweiterung der Freiheitsgradauswahl bei der adaptiven Verschiebungskontrolle um Freiheitsgrade mit inhomogenen Dirichlet-Randbedingungen

Linearisiertes Gleichungssystem der Bogenlängenkontrolle:

$$\frac{\partial f}{\partial \mathbf{D}} \cdot \Delta \mathbf{D} + \frac{\partial f}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda = -f$$

$$\frac{\partial \mathbf{R}}{\partial \mathbf{D}} \cdot \Delta \mathbf{D} + \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda = -\mathbf{R}$$

Ermittlung der Lastfaktoränderung ohne Verschiebungslasten:

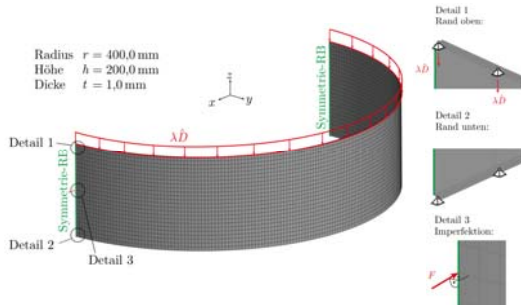
$$\Delta \lambda = -\frac{f + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{D}} \cdot \Delta \mathbf{D}_R}{\frac{\partial f}{\partial \lambda} + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{D}} \cdot \Delta \mathbf{D}_F}$$

Ermittlung der Lastfaktoränderung mit Verschiebungslasten:

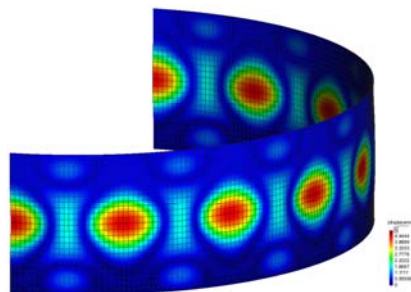
$$\Delta \lambda = -\frac{f + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{D}} \cdot \Delta \mathbf{D}_R}{\frac{\partial f}{\partial \lambda} + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{D}} \cdot \Delta \mathbf{D}_F + \mathbf{V}^T \cdot \frac{\mathbf{D} \lambda}{\sqrt{|\mathbf{D} \mathbf{D}|^2 + \psi \cdot \mathbf{D} \lambda^2}}}$$

## Beispiele

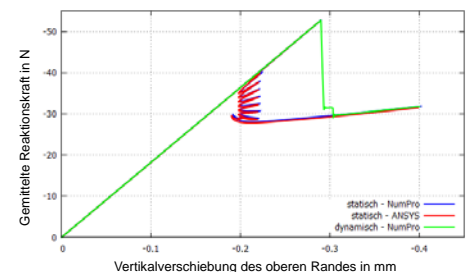
Untersuchung von Beulproblemen und Vergleich der Ergebnisse mit ANSYS



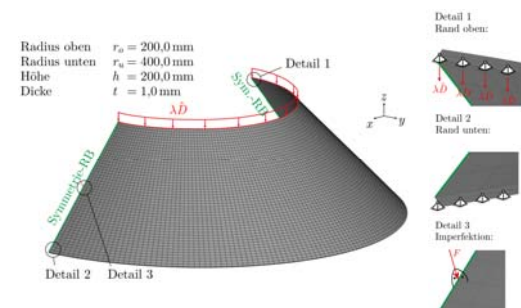
Statisches System und Randbedingungen des Zylinders



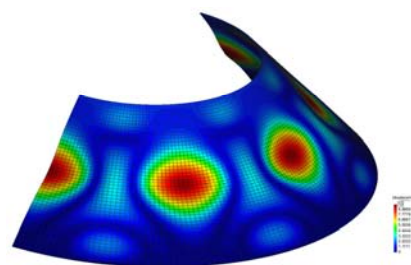
Verformungsbild des Zylinders: Statische Berechnung mit NumPro



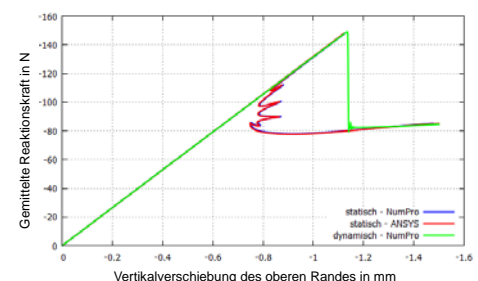
Last-Verschiebungskurven des Zylinders im Vergleich



Statisches System und Randbedingungen des Kegelstumpfs



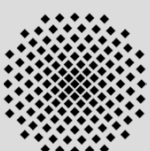
Verformungsbild des Kegelstumpfs: Statische Berechnung mit NumPro



Last-Verschiebungskurven des Kegelstumpfs im Vergleich

## Literatur:

- T. Pohl: Adaptive Methoden zur Pfadverfolgung bei Entfestigung, *Dissertation, Universität Stuttgart, 2014*



**Institut für Baustatik und Baudynamik**  
Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Bischoff

