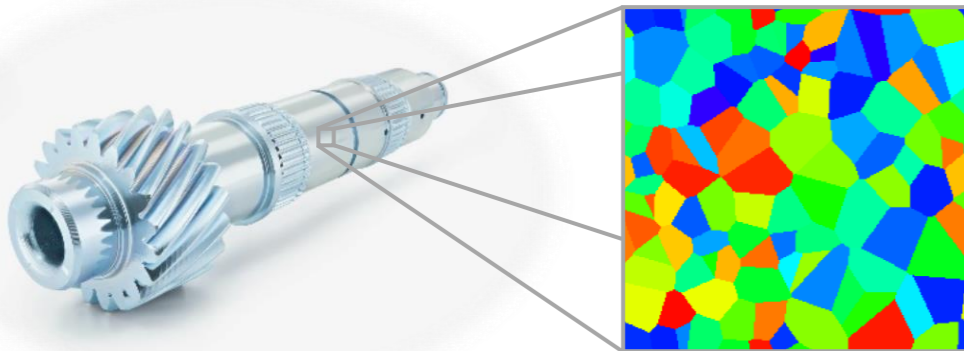


Thermomechanisch gekoppelte FE-FFT-Simulation polykristalliner Materialien

Motivation

In zahlreichen technischen Anwendungsbereichen werden Bauteile aus Metallen hergestellt. Metalle zeichnen sich durch eine polykristalline Mikrostruktur aus. Um das Materialverhalten möglichst genau abbilden zu können, wurden mehrskalige Ansätze, wie z.B. der zweiskalige auf der Finite-Elemente-Methode (FE) und Fast-Fourier-Transformation (FFT) basierende Simulationsansatz entwickelt.

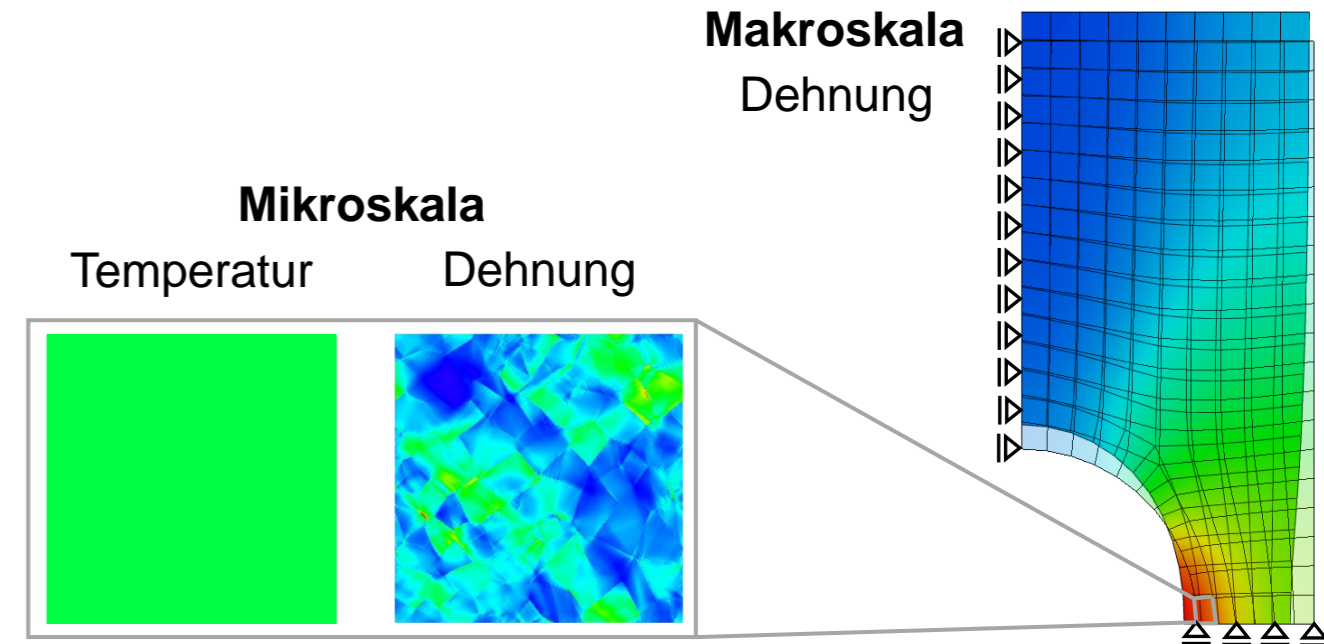
Makroskala



Mikroskala

Polykristalline Mikrostruktur

Thermomechanisch gekoppelte zweiskalige Simulation



Mögliche Themen für Studien- und Abschlussarbeiten

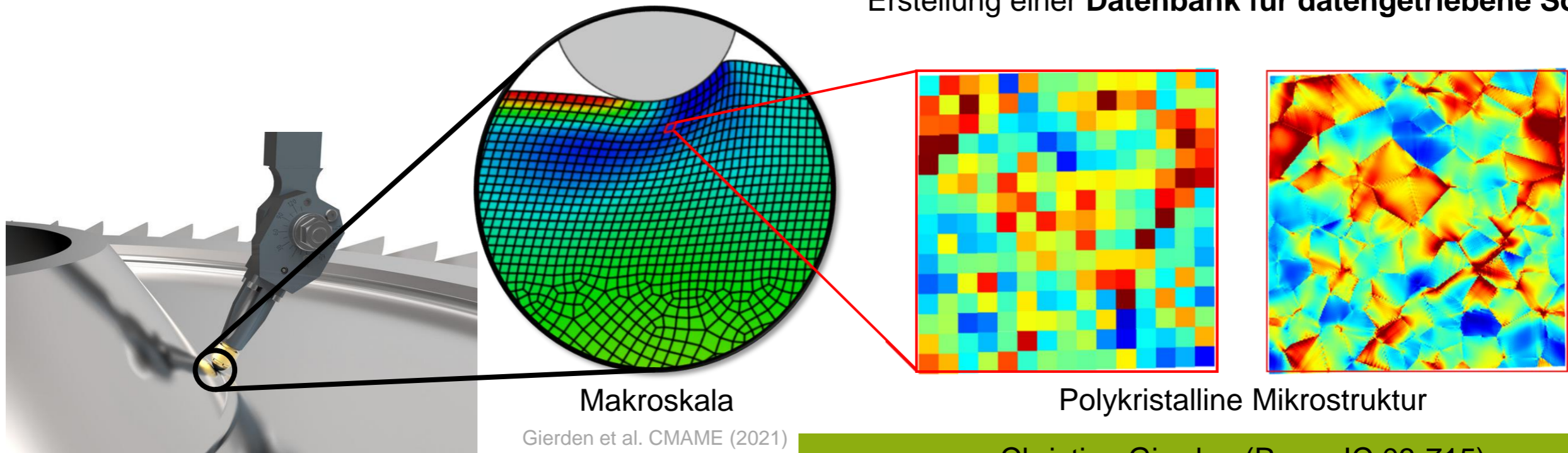
- Berücksichtigung mikroskopischer Phänomene, wie z.B. martensitischer Phasentransformation
- Zweiskalige FE-FFT-Simulationen

Effiziente und hochaufgelöste Simulation von periodischen Mikrostrukturen

Motivation: Im Allgemeinen wird das makroskopische Materialverhalten maßgeblich von der zugrunde liegenden **Mikrostruktur** beeinflusst. Unter Berücksichtigung periodischer Mikrostrukturen kann dieses mikroskopische Materialverhalten mit einer **Fast-Fourier-Transform (FFT)-basierten Simulation** untersucht werden.

Mögliche Themen für Studien- und Abschlussarbeiten:

- Entwicklung und Untersuchung von **Modellreduktionstechniken** für die FFT-basierte Simulation
- Entwicklung von Techniken zur **Steigerung der Genauigkeit** von FFT-basierten Solvern
- Durchführung von FFT-basierten Simulationen, z. B. zur Erstellung einer **Datenbank für datengetriebene Solver**



Makroskala

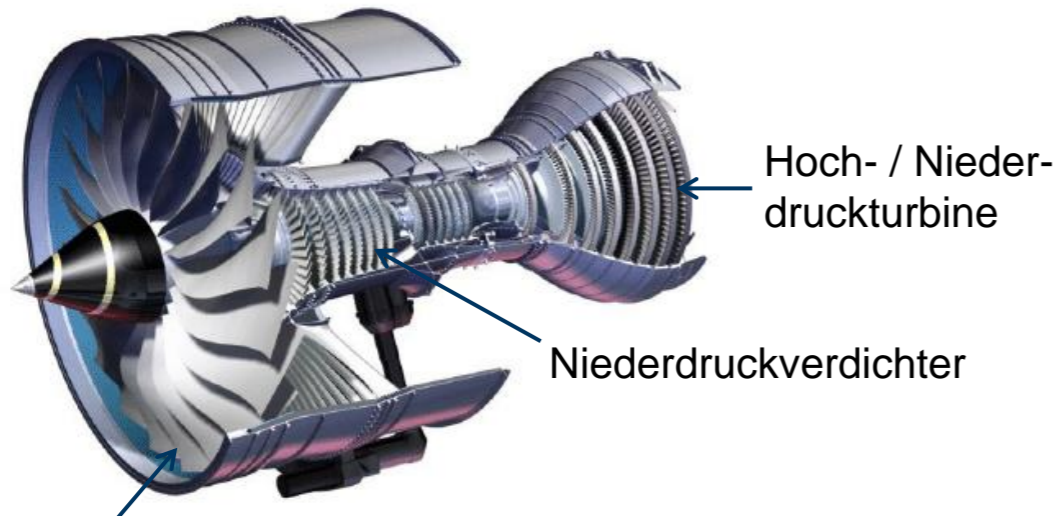
Gierden et al. CMAME (2021)

Polykristalline Mikrostruktur

Modellierung polykristalliner Materialien beim elektrochemischen Abtragen

Motivation

Elektrochemisches Abtragen (ECM) ist ein leistungsfähiges Fertigungsverfahren, das auf dem **Prinzip der Elektrolyse** beruht. Es ermöglicht die Bearbeitung von hochfesten und sehr temperaturbeständigen polykristallinen Metallen **ohne Eigenspannungen zu verursachen** und dennoch eine **hohe und rissfreie Oberflächenqualität** erreicht werden können. ECM wird häufig in der Luft- und Raumfahrtindustrie für die Herstellung der Hochpräzisionskomponenten der Triebwerke eingesetzt.



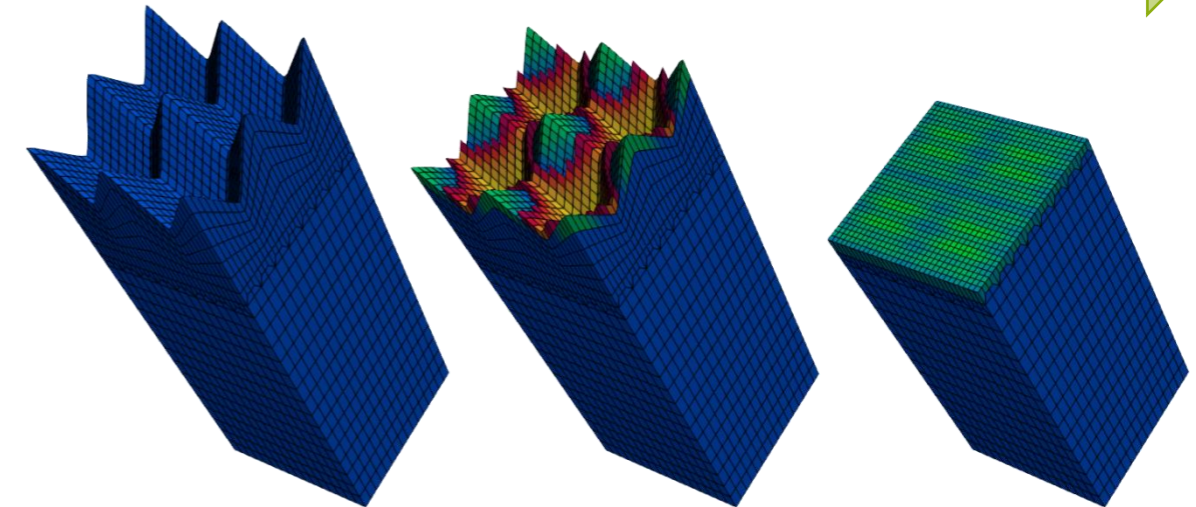
Turbinenschaufel

A. Rona and J.P. Gostelow (2014)

Numerische Simulation der anodischen Metallauflösung

Start der Simulation

Ende der Simulation



Zustand des Werkstücks zu verschiedenen Zeitpunkten der Simulation

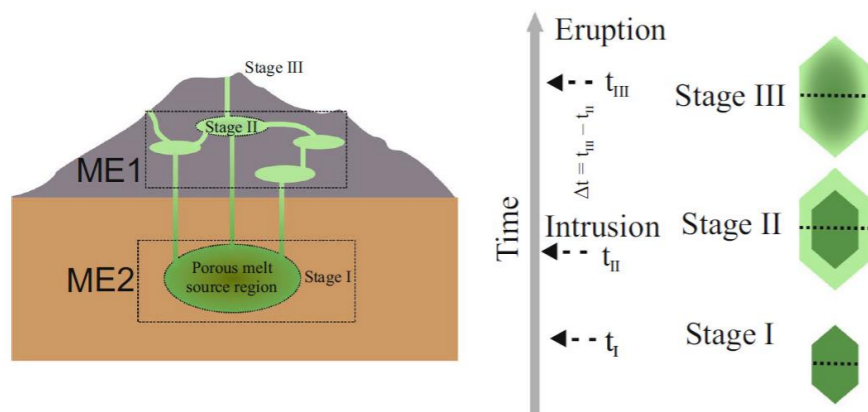
Mögliche Themen für Studien- und Abschlussarbeiten:

- Durchführen von 2D- und 3D- Finite-Elemente-Simulationen
- Erweiterung des Finite-Elemente-Modells
 - ↳ Modellierung des Einflusses einer Oxidschicht
 - ↳ Implementierung mithilfe des Phasen-Feld-Ansatzes

Modellierung von Diffusions- und Wachstumsprozessen von Olivinkristallen

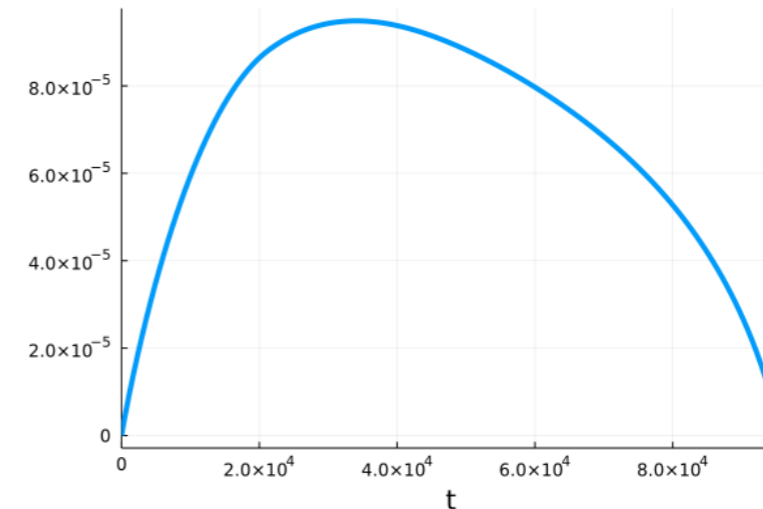
Motivation

In den unteren Magmakammern von Vulkanen entstehen Olivinkristalle. Diese Kristalle wachsen während sie durch die einzelnen Magmakammern bis zum Vulkanausbruch nach oben steigen. In manchen Fällen führen die Diffusionsprozesse allerdings dazu, dass die Kristalle instabil werden und bis zur Rekristallisation schrumpfen. Modelle zum besseren Verständnis dieser Prozesse werden entwickelt.



Wachstumsprozess eines Olivinkristalls

Entwicklung der Größe eines Kristalls im Verlauf der Zeit



Mögliche Themen für Studien- und Abschlussarbeiten

- Implementierung eines Temperaturfeldes
- Vergleich verschiedener Ansätze zur Beschreibung der Versetzungsdichte
- PINN-basierte Simulationen

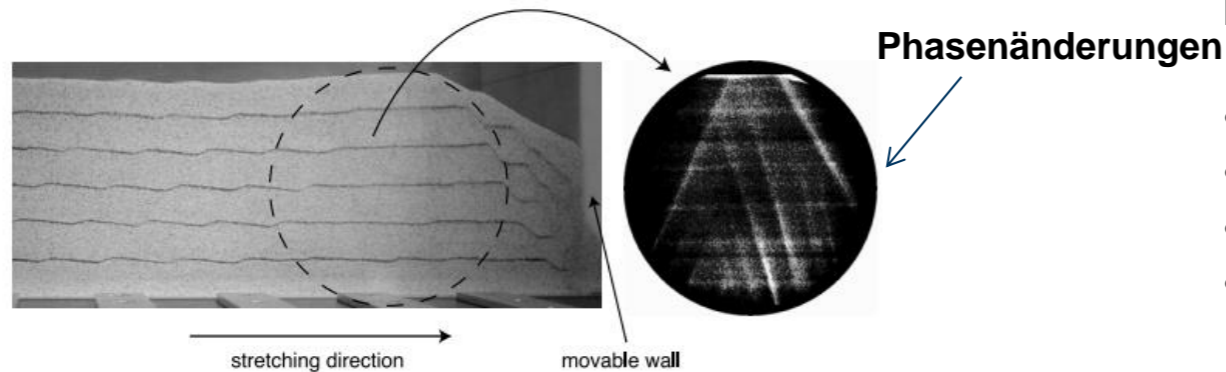
Variationelle Modellierung parameterabhängiger Materialien

Motivation

Scherbänder können in natürlichen und synthetischen Materialien darunter Böden, amorphe Metalle sowie amorphe Oxide beobachtet werden.

Diese sind häufig mit Phasenänderungen, wie zum Beispiel Übergänge zwischen **Dichtephase**n, gekoppelt, deren Eigenschaften mit FE (Finite Element) - Simulationen analysiert werden können.

Sandboxexperiment



Wolf et al. (2002)



Mögliche Themen für Projekt-/ Bachelor- und Masterarbeiten

- FE/ Materialpunkt-Simulationen
- Parameteranalysen

Interessen

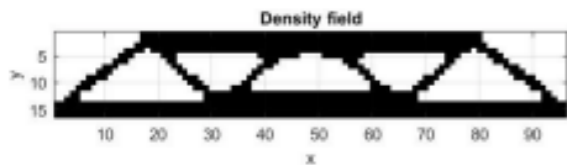
- Finite Elemente Methode
- Kontinuumsmechanik
- Variationelle Modellierung
- Programmiersprachen ggf. Julia

Einfacher Topologie-Optimierungs-Algorithmus

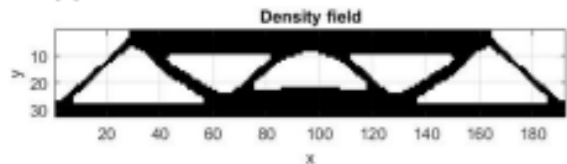
Motivation

Topologieoptimierung beschreibt ein computerbasiertes Verfahren zur Optimierung von Bauteilen anhand von algorithmischen Verfahren, um eine günstigere Grundgestalt der Bauteile hinsichtlich bestimmter Kriterien (z.B. mechanische Belastung, Gewicht, Herstellungskosten) zu erzielen.

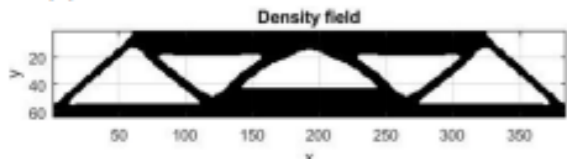
Beispiele zur Topologieoptimierung



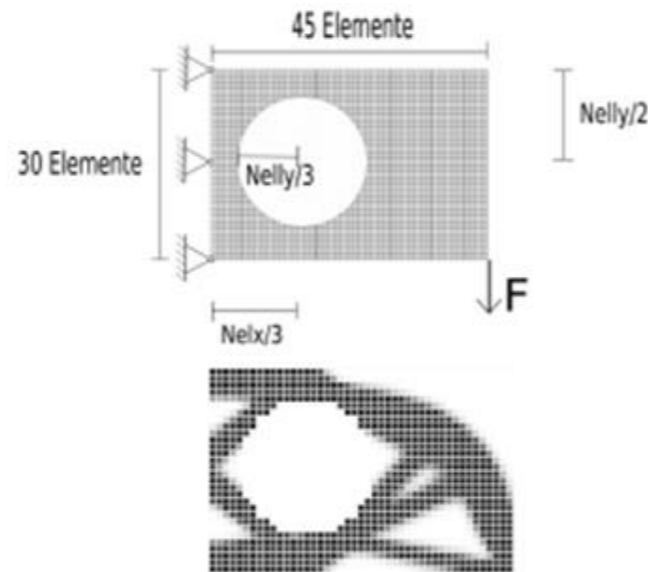
(a) Mesh size: $96 \times 16 = 1.536$ elements



(b) Mesh size: $192 \times 32 = 6.144$ elements



[Bui Quoc Phuong 2023]



[Martin Schmidt 2021]

Art der Facharbeit: Projekt-, Bachelor- oder Masterarbeit

Inhalte

- Erstellung eines Topologieoptimierungs-Programmes auf der Basis von Vorlagen in begründeter, nachvollziehbarer Weise
- Anwendung auf einfache 2-dimensionale Probleme
- Anschauliche Darstellung der Ergebnisse
- Parameterstudien
- Bachelor- oder Masterarbeiten: Erweiterung auf zusätzliche Restriktionen oder/und nichtlineares Materialverhalten

Hilfreiche Kenntnisse / Interessen

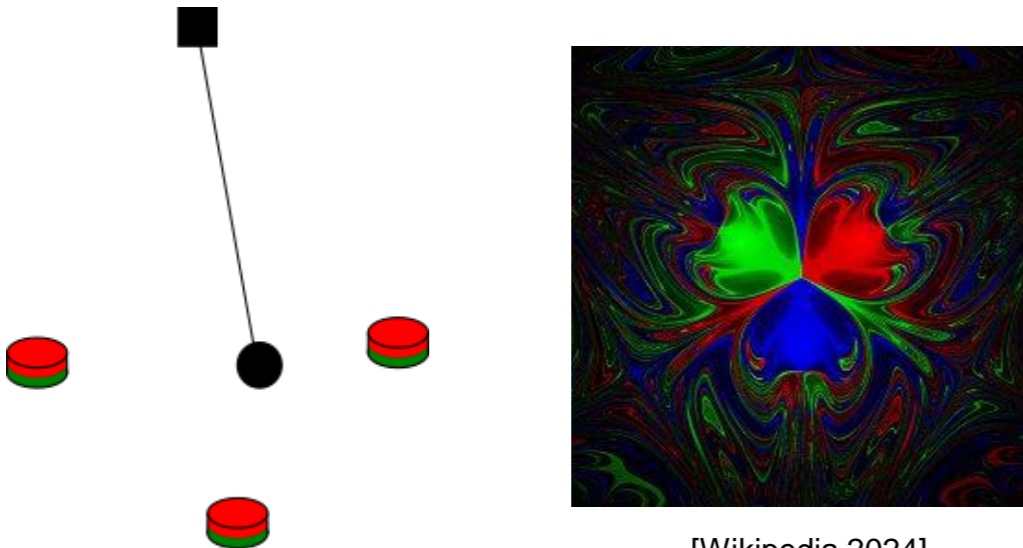
- Programmierkenntnisse (vorzugsweise Julia, Matlab oder Python)
- Kontinuumsmechanik, Festigkeitslehre

Simulation von nichtlinearen Bewegungsvorgängen (Magnetisches Pendel)

Motivation

Ein magnetisches Pendel zeigt bei genügend großer Anfangsauslenkung chaotisches Verhalten. Dabei führen selbst geringste Änderungen der Anfangswerte nach einer gewissen Zeit zu einem völlig anderen Bewegungsablauf (sensitive Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen). Es zeigt sich ein nichtvorhersagbares Verhalten, das sich zeitlich scheinbar irregulär (chaotisch) entwickelt.

Skizze des Pendels und Stabilitätskarte für ein Pendel mit 3 Magneten



[Wikipedia 2024]

Art der Facharbeit: Projektarbeit

Inhalte

- Aufstellen der Bewegungsgleichung für eine beliebige Anzahl von Magneten und ein physikalisches Pendel in begründeter, nachvollziehbarer Weise
- Numerische Lösung der Differentialgleichungen
- Anschauliche Visualisierung der Lösungen (Stabilitätskarte)
- Parameterstudien
- Diskussion der Ergebnisse anhand von Grundbegriffen der Chaostheorie (z.B. Phasenraum, Attraktor)

Hilfreiche Kenntnisse / Interessen

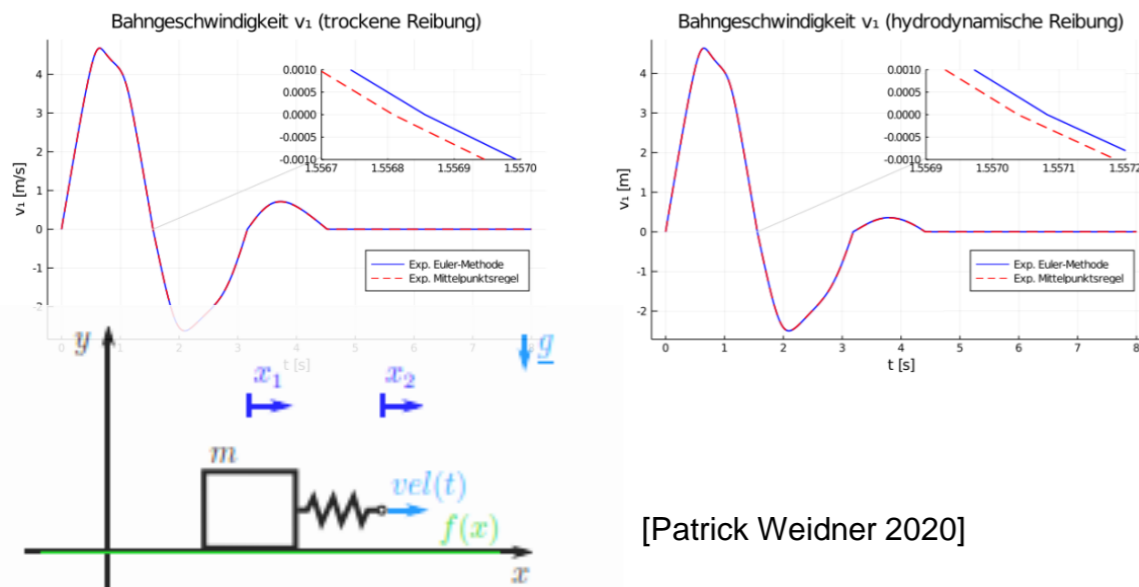
- Dynamik (Mechanik C)
- Programmierkenntnisse (vorzugsweise Julia, Matlab oder Python)
- Hilfreich: Computermethoden in der Mechanik

Simulation von nichtlinearen Bewegungsvorgängen (Stick-Slip-Effekt)

Motivation

Bei dem Stick-Slip-Effekt handelt es sich um eine Form einer durch Reibung erregten Schwingung, beschrieben durch den periodischen Wechsel von Haften (eng. stick) und Gleiten (engl. slip) zweier relativ zueinander bewegter Oberflächen. In der Praxis äußert sich der Stick-Slip-Effekt oft durch Geräusche, z.B. das Kurvenquietschen von Straßenbahnen oder das Kreidequietschen an der Tafel.

Slip-Stick-Effekt bei trockener und hydrodynamischer Reibung



Art der Facharbeit: Projektarbeit, Bachelorarbeit

Inhalte

- Aufstellen der Bewegungsgleichungen in begründeter, nachvollziehbarer Weise
- Hydrodynamische Reibung (z.B. Stribeck-Gesetz)
- Numerische Lösung der Differentialgleichungen
- Anschauliche Visualisierung der Lösungen (Animationen)
- Parameterstudien
- Bachelorarbeit: Mehrdimensionale Bewegungen

Hilfreiche Kenntnisse / Interessen

- Dynamik (Mechanik C)
- Programmierkenntnisse (vorzugsweise Julia, Matlab oder Python)
- Hilfreich: Computermethoden in der Mechanik

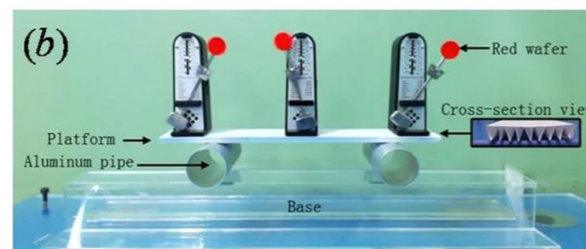
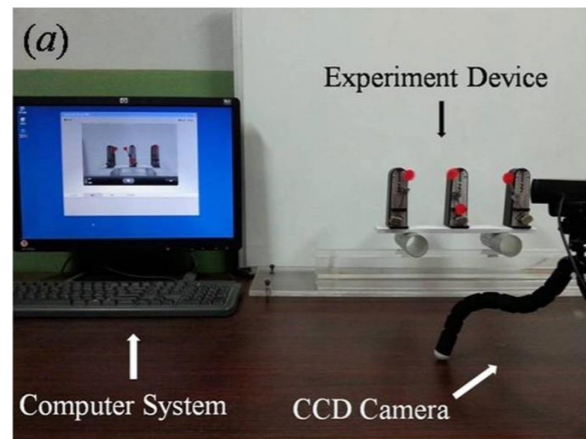
Autonome Synchronisation von gekoppelten Schwingungen

Motivation

Schwingende Systeme, die miteinander wechselwirken (Kopplung), können unter bestimmten Umständen zur Phasensynchronisation neigen. Als Beispiel werden Metronome betrachtet, die über eine bewegliche Unterlage gekoppelt sind. Nachdem die Metronome zunächst beliebig angeregt wurden, gehen sie nach einiger Zeit in eine synchrone Schwingung im Gleichtakt über.



[Jia, J., Song, Z., Liu, W. et al. Experimental Study of the Triplet Synchronization of Coupled Nonidentical Mechanical Metronomes]



Art der Facharbeit: Projekt-, Bachelor oder Masterarbeit

Inhalte

- Modellierung eines gekoppeltes Systems von n Metronomen in begründeter, nachvollziehbarer Weise
- Numerische Lösung der Differentialgleichungen
- Anschauliche Visualisierung der Ergebnisse
- Parameterstudien hinsichtlich der Einflüsse von Abmessungen, Reibung, usw.
- Optional: Experimentelle Untersuchungen, Vergleich Versuch und Simulation
- Optional: Modellierung alternativer gekoppelter Systeme

Hilfreiche Kenntnisse / Interessen

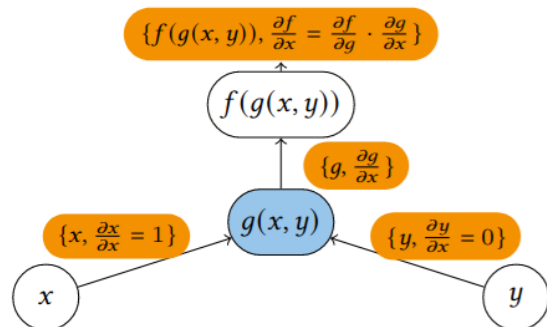
- Dynamik (Mechanik C)
- Programmierkenntnisse (vorzugsweise Julia, Matlab oder Python)
- Hilfreich: Computermethoden in der Mechanik

Automatisches Differenzieren in der Materialmodellierung

Motivation

In der Materialmodellierung werden für numerische Simulationsverfahren sehr häufig Ableitungen von Energie- bzw. Spannungsfunktionen nach mehreren Variablen benötigt. Diese Gradienten lassen sich analytisch oft nur schwer bestimmen. Eine numerische Bestimmung ist aufwändig und teilweise ungenau. Die Idee des automatischen Differenzierens beruht auf dualen Zahlen und der Anwendung der Kettenregel im Vorwärts- oder Rückwärts-Modus. Damit ist es Programmen möglich, mathematische Funktionen abzuleiten.

Vorwärts-Modus und Berechnung eines Spannungstensors aus einer Formänderungsenergie



$$\mathbf{S} = \frac{\partial W}{\partial \mathbf{E}}$$

[Wikipedia 2024]

Art der Facharbeit: Projekt-, Bachelor oder Masterarbeit

Inhalte

- Automatisches Differenzieren verstehen (Vorwärts- / Rückwärtsmodus)
- Materialmodelle (z.B. hyperelastisch) programmieren
- Automatisches Differenzieren nutzen, um Spannungen, Steifigkeiten oder Sensitivitäten zu ermitteln
- Vergleich der Ergebnisse mit numerischem Differenzieren
- Optional: Erweiterung auf nicht-elastische Materialmodelle
- Optional: Untersuchung von unstetigen Funktionen

Hilfreiche Kenntnisse / Interessen

- Tensorrechnung, Materialmodellierung
- Programmierkenntnisse (vorzugsweise Julia, Matlab oder Python)