

# Physik realer Systeme

Von Differenzialgleichungen zum Experiment

C. Lehrenfeld, C. Nowak

# Physik für reale Systeme?

Physik funktioniert  
für idealisierte  
Systeme

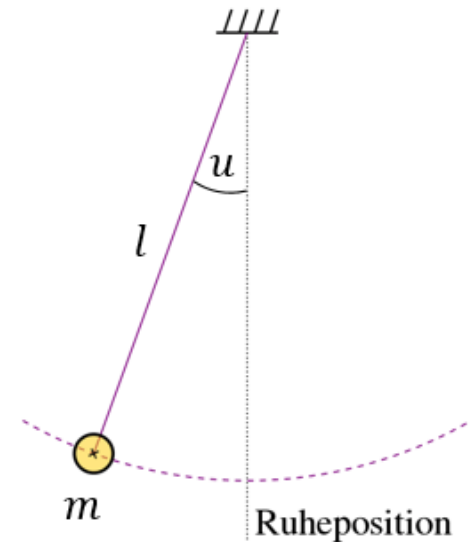
reale Systeme  
zeigen deutliche  
Abweichungen

# Hintergrund

Einfache quantitative (mathematische) Beschreibung physikalischer System möglich sofern

- hohe Symmetrie
- keine Kopplung
- wenige Wechselwirkungen

$$\frac{d^2 u}{dt^2}(t) = -\frac{g}{l} \sin(u(t))$$



→ Wenig symmetrische und gekoppelte System mit vielen Wechselwirkungen nicht leicht zugänglich

# Differentialgleichungen

- Eine **Differentialgleichung (DGL)** ist ein mathematischer Zusammenhang zwischen einer gesuchten Funktion  $u$  und Ihren Ableitungen
- Viele Naturgesetze können in Form von DGLen dargestellt werden. Ursprung ist (fast) immer ein **Erhaltungssatz**.
- Beispiele:
  - Bewegungsgleichungen = Energieerhaltung
  - Wärmetransport = Energieerhaltung
  - Diffusion = Massenerhaltung
  - Elektrische Ströme = Ladungserhaltung

# Gewöhnliche Differentialgleichungen

## Beispiele:

- Newtonsche Mechanik:  $F(t) = m a(t) = m \frac{d^2 x}{dt^2}(t)$
- Radioaktiver Zerfall:  $\frac{dN}{dt}(t) = -\lambda N(t)$
- usw.

Numerische Lösungsverfahren werden benötigt, da DGLen i.d.R. nicht analytisch gelöst werden können:

- Euler-Verfahren
- Finite-Elemente-Methode
- usw.

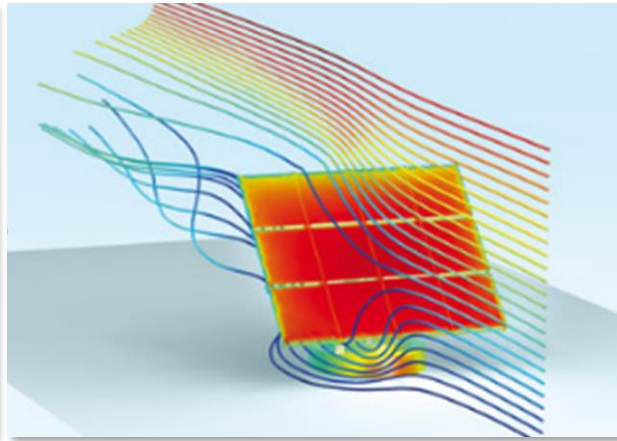
# Motivation zur Simulation

## Theorie



- ▶ mathematische Modelle
- ▶ gewöhnliche und/oder partielle Differentialgleichungen

## Simulation



- ▶ virtuelle Experimente
- ▶ neue Designideen
- ▶ Parameterstudien
- ▶ Optimierung

## reales System



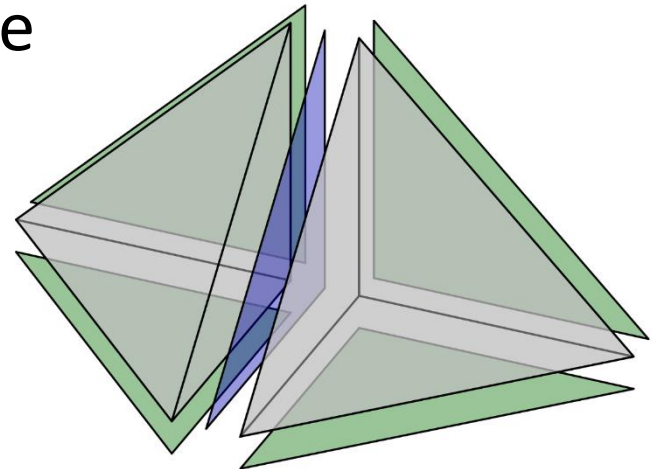
- ▶ teuer & zeitaufwändig
- ▶ nur wenige werden tatsächlich realisiert

Abb. © COMSOL AB

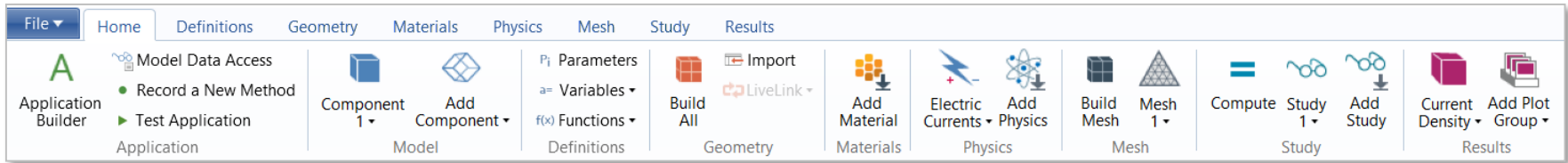
# Simulation

## Finite Elemente Methode

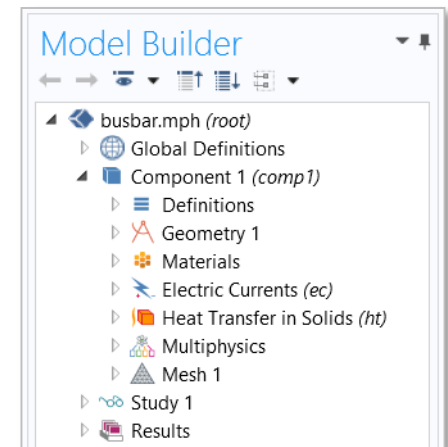
- etabliertes mathematisches Verfahren
- ermöglicht
  - beliebige Geometrien
  - komplexe physikalische Gesetze
  - vielfältige Wechselwirkungen
  - „Was wäre wenn?“ Experimente



# Ablauf einer Simulation

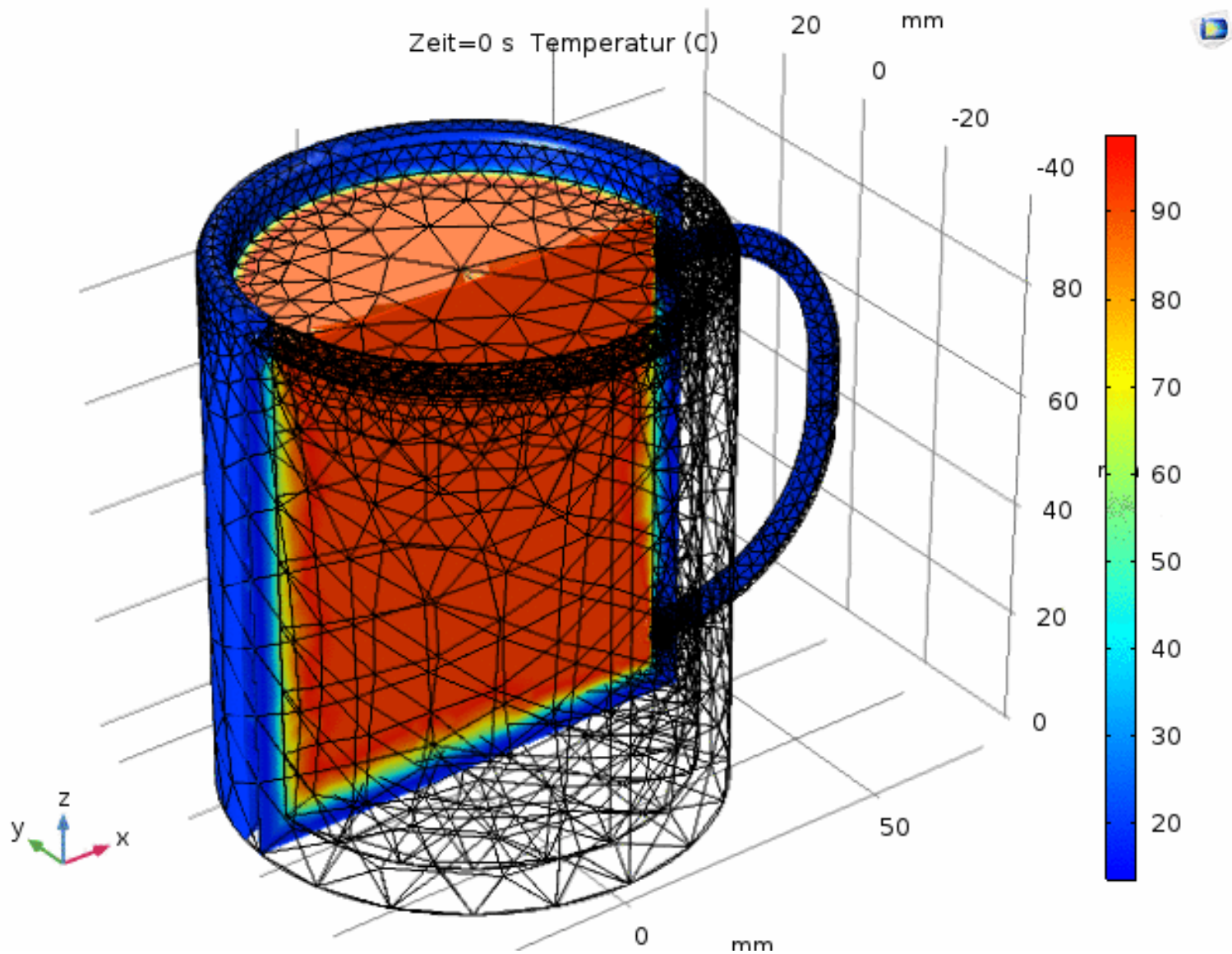


1. Wahl der Raumdimension
2. Erstellung der Geometrie
3. Zuweisung physikalischer Eigenschaften
  - Differenzialgleichungen
  - Randbedingungen
4. Zuweisung der Materialparameter
5. Vernetzung / Approximation der Lösung
6. Numerische Lösung
7. Auswertung der Ergebnisse





# Temperaturverlauf Tasse



# Ablauf

Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
Individuelle Anreise	Finite-Elemente-Methode	Eindimensionale Schwingungen	Mehrdimensionale Analysis	Experiment und Simulation Mikrowellen
		Euler-Verfahren	Wellengleichung für elektromagnetische Wellen	
	Mittagessen			
Einführung (13:00)  Differenzialgleichungen in der Physik	Experiment und Simulation Wärmeleitung	Experiment und Simulation Pendel  Studieninformation	Experiment elektromagnetische Wellen  Kurzvortrag „Simulationen in der Forschung“	Individuelle Vertiefung  Abschluss
Abendessen (19:00)	Abendessen (19:00)	Abendessen (18:00) Astro-Abend (19:30)	Abendessen (18:00)	Individuelle Abreise (ab 16:00)

# Notebooknutzung

## Logindaten

- User: kurs3/xlab222
- Passwort: startstart

## Speicherort für zentrale Kursmaterialien (schreibgeschützt)

- Netzlaufwerk:  
xlabxxx\Physik\Simulationscamp2023

## Speicherort für eigene Kursmaterialien

- C:\Users\Public\Documents\Name