

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Explizite Finite Elemente Methode

LV01: Masterkurs für MK-M, ME-M und PE-M

Begriffe und Modellbildung zur numerischen Simulation

Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt
FB VIII: Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik

Gute Ratschläge

- „Wer die Wahrheit sucht sollte sich auf Neuerungen einlassen und nie aufhören zu fragen.“
- „Man sollte alles so einfach wie möglich machen, aber nicht einfacher!“
- „Zur Lösung eines Problems sind 5% Inspiration und 95% Transpiration erforderlich!!“

nach Albert Einstein

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV01: Explizite FEM

Computersimulation

```

    graph LR
      Problem[Problem] --> Modell[Modell]
      Modell --> Simulation[Simulation]
  
```

- das Experiment am Rechner (virtuelles Labor)
- die 3. Säule der Wissenschaft neben Theorie und Versuch

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV01: Explizite FEM

Numerische Simulation ist ...

- wirtschaftlich** (im Vergleich zum Versuch)
- ungefährlich** (für Mensch und Umwelt)
- schnell** (und hoffentlich auch zutreffend)
- einfach beeinflussbar** (parametrisierbar)
- wenig stör anfällig** (sofern Lösung konvergent)
- aussagefähig** (im Rahmen der Modellannahmen)

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV01: Explizite FEM

Ziel der Simulation

- Verständnis des Vorgangs** (Nachbildung der Natur)
- Optimierung des Vorgangs**
- Vorhersage des Vorgangs**

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV01: Explizite FEM

Modellbildung als Abstraktion

Modellierung ist eine zielgerichtete Vereinfachung der Realität durch Abstraktion

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV01: Explizite FEM

Beispiel: Vertikalbewegung eines PKW's

The diagram illustrates the vertical movement of a car's suspension system. It shows a car on the left and a detailed mechanical model on the right. The model is divided into four horizontal layers: **Aufbau** (chassis), **Radlaufhängung** (axle assembly), **Reifen** (tires), and **Terrain** (ground). The chassis is represented by a mass m_1 with vertical displacement x_1 . The axle assembly consists of two masses m_2 and m_3 with displacements x_2 and x_3 . The tires are represented by masses m_4 and m_5 with displacements x_4 and x_5 . The ground is represented by a mass m_6 with displacement x_6 . The model includes springs ($k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$) and dampers ($d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$) connecting these masses. The front wheel is labeled 'Radstand (hinten) (vorne)'.

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV: Explizite FEM 7

The DON'T of Mathematical Modelling

- DON'T believe that the model is the reality
- DON'T extrapolate beyond the region of fit
- DON'T distort reality to fit the model
- DON'T retain a discredited model
- DON'T fall in love with your model

S. W. Golomb (1970)

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV: Explizite FEM 8

Problemlösungsschritte

The flowchart shows the steps of the problem-solving process: **Problem** leads to **Modellbildung** (Model Building), which leads to **Modell**. From the model, the process goes to **Modellanalyse Numerik/Programmierung** (Model Analysis Numerics/Programming), then to **Parameteranpassung** (Parameter Adjustment). A decision diamond asks if the model structure is 'gute Modellstruktur' (good model structure) or 'schlechte Modellstruktur' (poor model structure). If good, it proceeds to **Simulator**, then **Simulation**, then **Simulationsergebnisse** (Simulation Results). A second decision diamond asks if the mapping is 'gute Abbildung' (good mapping) or 'schlechte Abbildung' (poor mapping). If good, it leads to **Anwendung des Simulators** (Application of the Simulator) and finally **Problemlösung** (Problem Solving). If the mapping is poor, it leads to **Analyse Parameter/Modell** (Analysis Parameter/Model), which then feeds back into **Parameteranpassung**.

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV: Explizite FEM 9

Modellanalyse - Numerik - Programmierung

- **Modellanalyse** (Eigenschaften des Modells verstehen)
 - lineare bzw. nichtlineare Systemgleichungen aufschreiben,
 - richtiges Lösungsverfahren, z.B. Zeitintegrationsverfahren auszuwählen (implizit oder explizit)
- **Numerik** (Lösung der mathematischen Modellgleichungen)
 - analytische Lösungen nur in einfachen Sonderfällen möglich,
 - Stattdessen stets numerische Näherungslösungen (FEM, PFC, ...)
- **Programmierung**
 - Codierung des mathematischen Modells in Software
 - Nutzung von angepassten Sprachen und Werkzeugen

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV: Explizite FEM 10

Simulationsmethoden und Tools

- **FEM** Finite-Elemente-Methode (Ansys, LSDyna, Nastran, Abaqus, Z88Aurora)
- **MKS** Mehr-Körper-Systeme (ADAMS, Dymola, Partical Flow Code PFC)
- **CFD** Computational Fluid Dynamics (Ansys/CFX/Fluent, Star-CD, OpenFOAM)
- **CAS** Computer Algebra Systeme (Maple für Analytik, Matlab/Simulink für Numerik)
- **Co-Simulation** FEM/CFD mit zeitabhängiger Systemsimulation (Ansys – Simplorer, OpenFOAM – OpenModelica)

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV: Explizite FEM 11

Wünsche und Warnungen für Simulanten

Wünsche eines Simulanten:

- er will ein Ergebnis
- er will ein exaktes Ergebnis
- er will schnell ein exaktes Ergebnis

Simulanten sollten nicht

- ungeprüften Ergebnissen vertrauen
- auf die Befragung der Natur verzichten
- das Rad neu erfinden (Tools verwenden)

Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB VIII, Prof. Dr. Kleinschrodt, LV: Explizite FEM 12