

# **Engineering Tools / Master**

## **Wintersemester 2014/2015**

- ab heute Anwesenheitsliste zur Unterschrift
  - liegt vor und nach Veranstaltung aus
  - demnächst:  
gelbe Markierung = Prüfungsmeldung liegt vor
- Hausaufgaben sind in 3er-Gruppen abzugeben
  - alle unvollständigen Gruppen treffen sich am Ende der VL vorne im Hörsaal

Anmeldeschluss zur Veranstaltung:  
**30.11.2014**  
Keine Nachmeldung möglich!

- SolidWorks 2014 SP 4.0
- kein Skript → Selbermachen!  
→ SolidWorks Lehrbücher
- Downloads sind nur begrenzte Zeit verfügbar  
→ rechtzeitig speichern

# Nachtrag zum ersten Termin

- Aufgabenstellung sorgfältig lesen
- „Messen“-Tool (Symbolleiste „Evaluieren“) nutzen, um vor Abgabe die Konstruktion zu überprüfen

# **Zweiter Termin:**

## **FEM-Berechnung von Bauteilen mit SolidWorks Simulation**

## FEM: Allgemeines

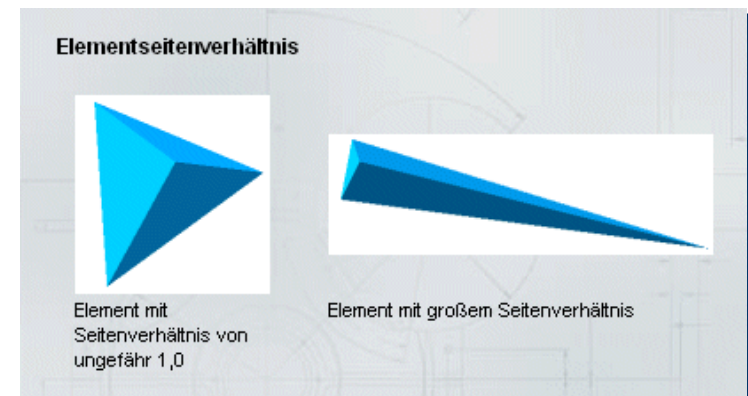
- FEM: Finite-Elemente-Methode
- Numerisches Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen oder Systemen aus Differentialgleichungen
- Unterteilung des Lösungsgebietes in endlich viele Intervalle, die finiten Elemente
- Auf jedem Intervall wird eine Interpolationsfunktion definiert, meist ein Polynom
- Das Polynom muss den Anforderungen der DGL hinsichtlich Differenzierbarkeit genügen

## FEM: Übergangsbedingungen

- Übergangsbedingungen an den Elementgrenzen stellen die Stetigkeit der Lösung und gegebenenfalls der Ableitungen sicher
- Da die Ableitungen des Polynoms bekannt sind, kann die DGL in ein automatisch lösbares algebraisches Gleichungssystem überführt werden

## FEM: Elementierung / Netz

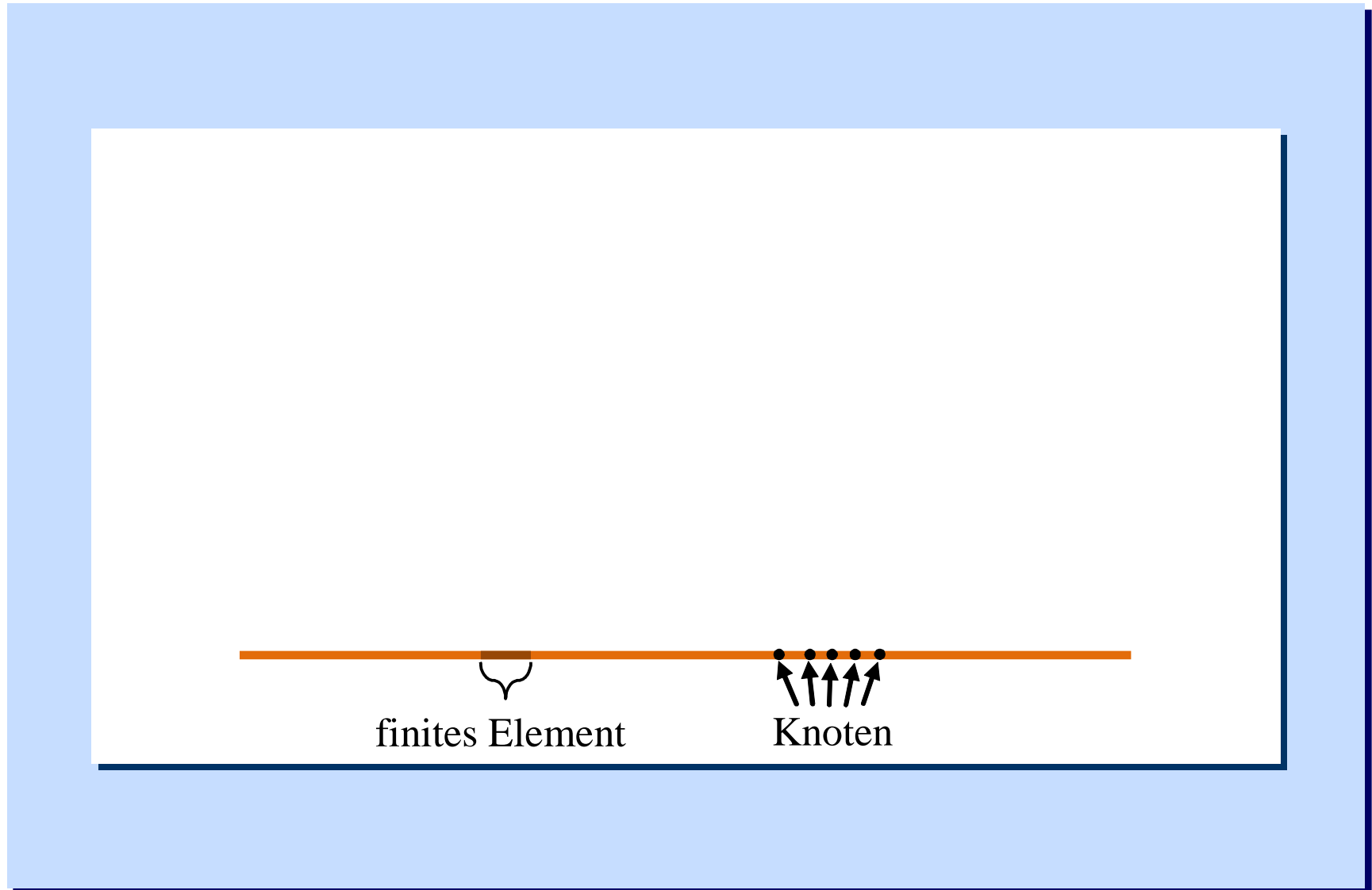
- Je kleiner die Elemente, desto genauer kann im Allgemeinen die exakte Lösung angenähert werden
- In Bereichen starker Krümmung der Zielgröße ist es sinnvoll, feiner zu elementieren (für lineare Interpolation)
- Im Eindimensionalen sind die Elemente Strecken, die Elementgrenzen sind Punkte
- Im Mehrdimensionalen sind die Elemente Drei- bzw. Vierecke (2D) und Tetraeder oder Oktaeder (3D), die Elementgrenzen sind Strecken oder Flächen



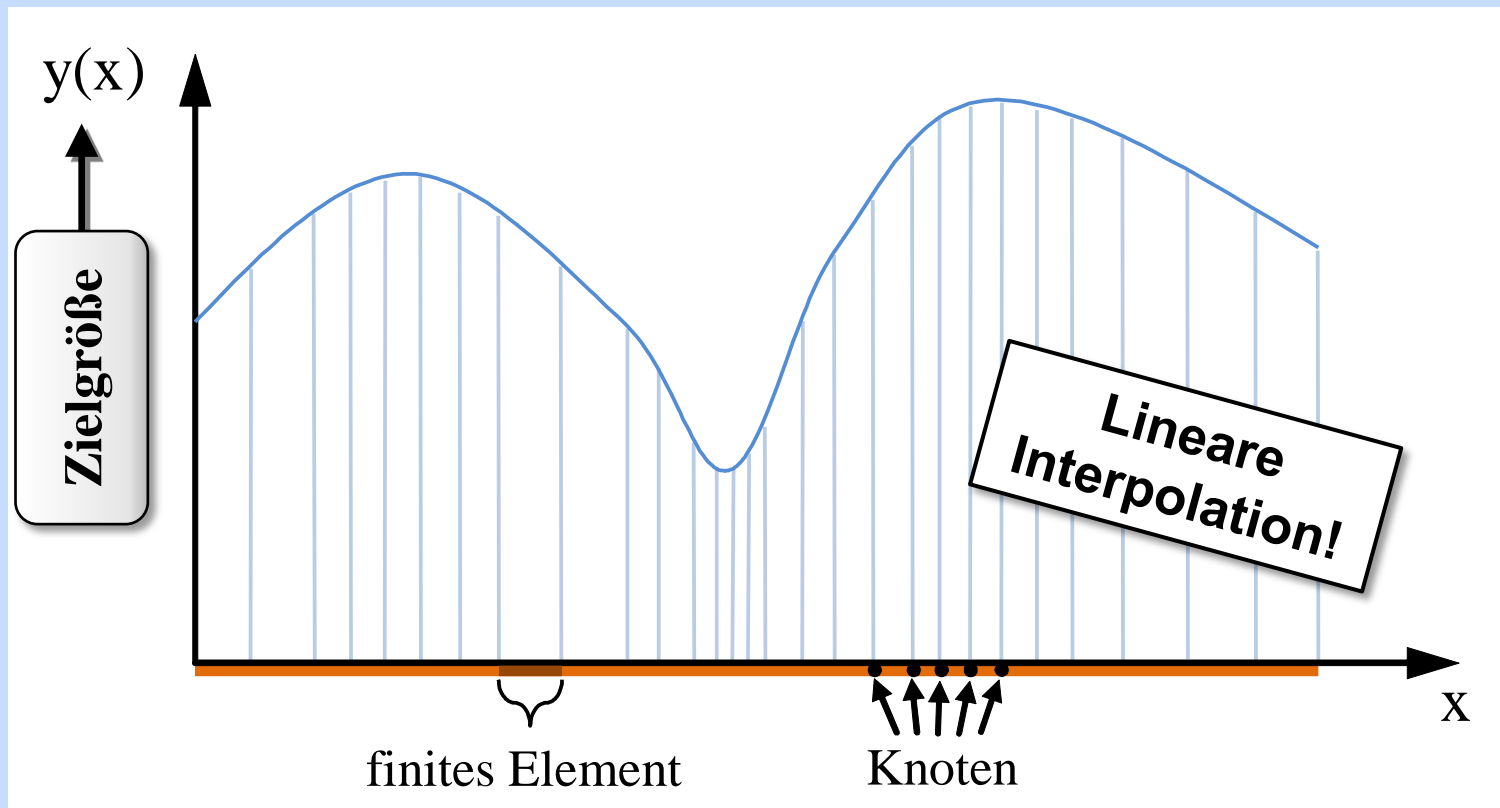
## FEM: Elementierung / Netz

- Die Ecken der Elemente werden als Knoten bezeichnet
- Die Variablen, die das Gleichungssystem bilden, sind in den Knoten definiert
- Im mechanischen Fall sind die Variablen Verschiebungen, im elektromagnetischen Fall ist es das magnetische Vektorpotential

# FEM: Eindimensionales Beispiel für ein Netz



# FEM: Eindimensionales Beispiel für ein Netz



## FEM: Schritte einer Analyse

- **Preprocessing**
  - Erstellen der Geometrie (Vereinfachung des Modells)
  - Zuweisen der Materialeigenschaften
  - Zuweisen von Lasten und Randbedingungen
  - Elementierung (Netzerstellung)
- **Solver**
  - Erstellen des Gleichungssystems
  - Lösen des Gleichungssystems
- **Postprocessing**
  - Darstellung der Ergebnisse
  - Interpretation der Ergebnisse

## **FEM: Adaptive Verfahren**

- **Solver berechnet Lösung und bestimmt Fehler**
  - z.B. über Energiefehler, Kraftsummen
- **Anpassung (Adaption) eines Parameters zur Verbesserung der Lösungsgenauigkeit**
  - z.B. Netzdichte; Grad des Polynoms, das Werteverlauf zwischen Knoten annähert
- **erneute Berechnung**
- **Schritte werden wiederholt bis gewünschte Genauigkeit erreicht oder ein anderes Abbruchkriterium erfüllt ist**
  - z.B. maximale Anzahl an Berechnungszyklen, maximaler Adaptionsgrad

# FEM: Anwendungen

- Mechanik
- Fluidodynamik (computational fluid dynamics, CFD)
- Elektromagnetik

- FEM-Berechnung ist **immer** fehlerbehaftet
  - Materialparameter nicht genau bekannt
  - nicht alle Phänomene werden modelliert
  - ...
- je mehr Knoten (Elemente), desto höher der Rechenaufwand
  - Netzdichte an das Problem anpassen
  - Modell vereinfachen
  - Symmetrien ausnutzen
- Solver:
  - h-adaptiv: Netz (Elementgröße) wird angepasst
  - p-adaptiv: Polynomgrad der Elemente wird angepasst