

Finite Element Analyse (FEA) (Solver & Post-Processing)

Vortrag im Rahmen des
3D Druck ProSeminars 2016

Lars Lamberti

Gliederung

- Solver
 - Zuverlässigkeit und Genauigkeit
 - Genauigkeitssteigerung
- Post-Processing
 - Beurteilung
- Topologie Optimierung
- Quellen

Solver

- Grundsätzliches Tool für die Berechnungen der FEM
- Für einfache Analysen meist nur wenige Einstellungen nötig
- Unterscheidung zwischen direkten und iterativen Lösern (Solver)
- Reicht Ergebnisse an Post-Processor weiter

Solver

Wichtigste Eigenschaften:

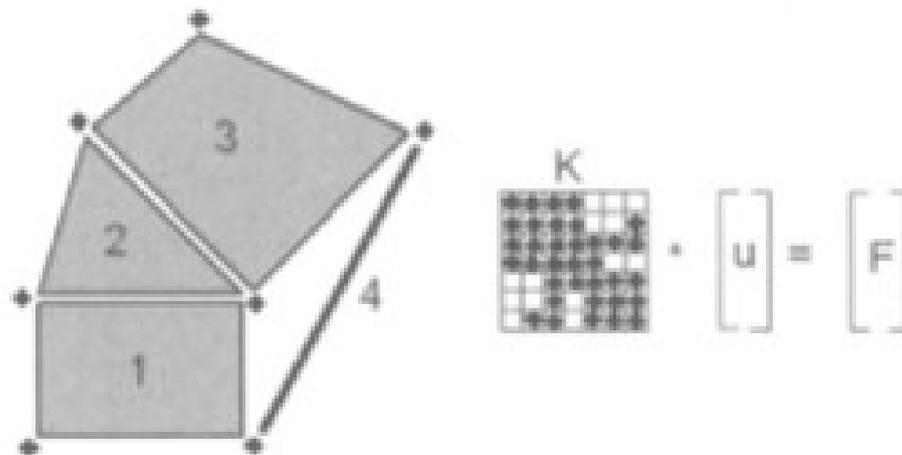
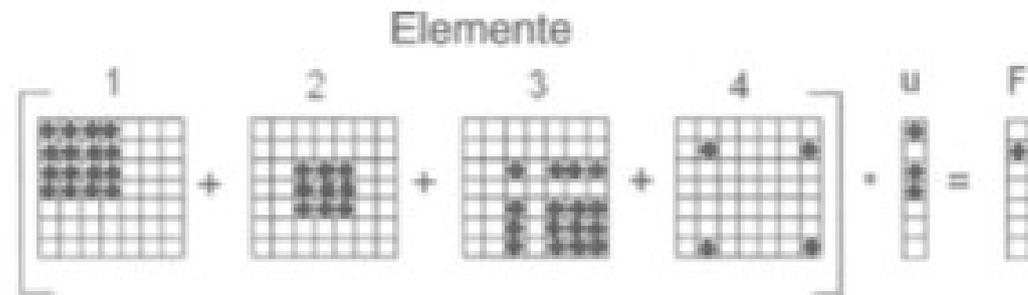
- Rechengeschwindigkeit
- Elementvielfalt
- Speicherbedarf
- Analysemöglichkeiten (statisch, dynamisch etc.)

Solver

Solver arbeiten in folgenden Schritten:

1. Erstellung der Elementsteifigkeitsmatrizen
2. Erstellung der Gesamtsteifigkeitsmatrizen
3. Aufstellen des Gleichungssystem mit Lastvektor und Randbedingungen
4. Lösung des Gleichungssystems
5. Berechnung aller Dehnungen und Spannungen

Solver-Arbeitsweise



Steifigkeitsmatrix K * Verschiebungsvektor u = Kraftvektor F

Solver

- Erstes (wichtigstes) Ergebnis sind immer die Verschiebungen
- Darauf folgen Verzerrungen, Spannungen und Knotenkräfte
- Spannung besonders bei der Analyse metallischer Bauteile wichtig

Zuverlässigkeit und Genauigkeit

- Ingenieurtechnische Analysen immer mit Ungenauigkeiten behaftet
- Drei Eigenschaften des Netzes entscheidend
 - Elementgröße, Elementanzahl und Elementanordnung
 - Elementform
 - Elementtyp

Zuverlässigkeit und Genauigkeit

- Grundsätzlich also: feineres Netz = besser Ergebnisse
- Zu feine Netze führen schnell zu riesigen Modellen
- Mit der FE-Berechnung kann keine absolute Genauigkeit erreicht werden

Genauigkeitsteigerung

Verschiedene Möglichkeiten zur Genauigkeitssteigerung

- Netzverfeinerung im Bereich von Spannungsspitzen
- Elementformen harmonisieren
- Viereck- und Hexaederelemente verwenden
- Elemente höherer Ordnung verwenden

Post-Processing

- Tool zur Darstellung und Auswertung der FEM – Analyse
- Wichtig ist die Darstellung in interpretationsfähiger Form
- Wichtigste Ergebnisse: Gesamtverformung, Spannungen und Dehnungen
- Darstellungen sind noch keine Bewertung!

Post-Processing

Darstellung der Ergebnisse in unterschiedlicher
Weise

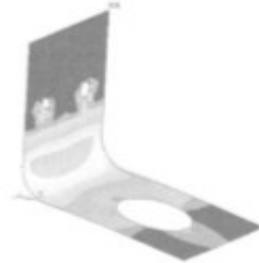
- Reine Zahlendarstellung
- Farbdarstellung
- Skaliertes Verformungsbild
- Kombinierte Darstellungen
- Animation der Ergebnisse



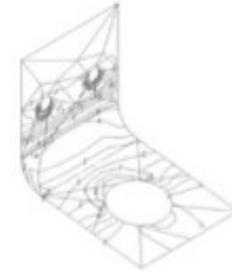
Gesamtverformung, überlagerte Darstellung



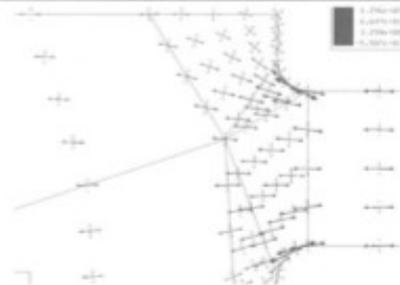
Gesamtverformung, Vektordarstellung



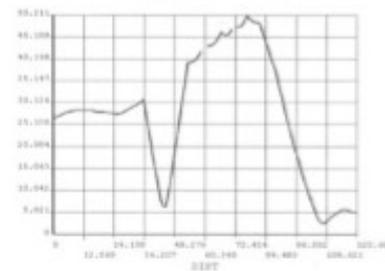
Farbdarstellung der Vergleichsspannungen
(hier nur Graustufen)



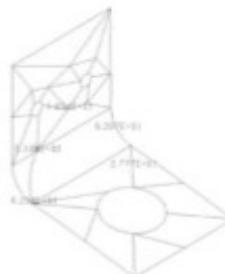
Isoklinendarstellung
der von Mises-Spannungen



Hauptspannungen im Kerbgrund
Vektordarstellung



Knotenspannungen in einem
Bauteilquerschnitt, Diagrammdarstellung



Vergleichsspannungswerte
an ausgewählten Knoten



Biegemomentverlauf an einem Balkenmodell

Post-Processing

Wichtigsten Eigenschaften:

- Gute Benutzerführung (Gut strukturiertes und intuitives UI)
- Vielfältige Möglichkeiten zur Ergebnisdarstellung
- Gute Kontrollmöglichkeiten der Anzeige (zoom, skalieren, drehen, schieben, ziehen...etc.)
- Ergebnismachbearbeitung

Beurteilung der Ergebnisse

- Im allgemeinen ein abgestuftes Vorgehen
- Groben Überblick verschaffen – qualitative Bewertung
- Detailbereiche – quantitative Bewertung
- Kritische Stellen und Bereiche
- Fehler im allgemeinen eher Menschliches Versagen

Topologie Optimierung

„The art of structure is
where to put the holes“

- Robert Le Ricolais, 1894-1977

Topologie Optimierung

- „Werkzeug“ zur Behandlung von Design-Problemen
- Problem:
 - Optimales lay-out einer Struktur in einer bestimmten Region finden
 - Physische Größe, Form und Verbundenheit unbekannt

Topologie Optimierung

- Zu Unterscheiden zwischen zwei Hauptkriterien:

Entweder:

→ Material-Verteilungs-Problem

Oder:

→ Maximale Steifigkeit

Topologie Optimierung

Einzig bekannte Werte sind im allgemeinen:

1. Angewandte Lasten
2. Mögliche Stützbedingungen
3. Volumen der Struktur

Eventuell weitere Design-Vorgaben

Topologie Optimierung

- Ergebnisse für gewöhnlich Roh-Design von Bauten/Bauteilen
- Masse meist um mehr als die Hälfte reduziert
- Verteilung der Masse nur auf notwendige Bereiche im Verhältnis zu Kräften

Quellen

Online:

- <http://fem-helden.de/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Finite-Elemente-Methode>
- <http://www.fem-praxis.de/>

Offline:

- Froehlich, P.: FEM-Anwendungspraxis, Vieweg, 2005
- Sigmund, O. , Bendsoe, M.P.: Topology Optimization „Theory, Methods and Applications“, Springer, 2004

Quellen

Präsentation:

SolidThinking Inspire

Abbildungen:

1. Froehlich, P.: FEM-Anwendungspraxis, Vieweg, 2005; S.75
2. Froehlich, P.: FEM-Anwendungspraxis, Vieweg, 2005; S.92