

ANTWORTEN ZUM FEM-FRAGENKATALOG VON BAUMANN RALF

ALLGEMEINES

1.

- Kostenersparnis bei der Entwicklung
- Optimale Formenentwicklung (Materialersparnis)
- Risikobeurteilung
- Virtuelle Tests mit verschiedenen Materialien

2.

Am Anfang vor 60 Jahren standen die Stabmodelle (1941, Hrennkoff), welche durch Ingenieure und Mathematiker entwickelt wurde. Darauf folgten 1953 die Flächenelemente. Seit 1965 wird die FEM kommerziell eingesetzt. Mit der gleichzeitigen Weiterentwicklung der Computer wurde die heutige, leistungsfähige FEM geschaffen. Heute wird mit Volumenberechnungen in sämtlichen Branchen gearbeitet.

3.

Heute ist es möglich Strukturen, Strömungen, Wärmeleitungen, Magnetismus und Multiphysik zu analysieren.

4.

Die Richtung geht in virtuelle Produkte Entwicklung. (CAE)

5.

1. Idealisierung der Realstruktur (Art des Modells, Symmetrien)
2. Randbedingungen festlegen
3. Netzbildung (Art des Netzes, Refine)
4. Lagerungen, Kräfte (Müssen auf einen Knoten fallen)

6.

1. Idealisierung
2. Modellbildung
3. Ergebnisse
4. Validierung/Verifizierung

7.

- Die Aussagesicherheit wird massgeblich durch die Sorgfalt des Berechnungsingeneurs beeinflusst. Ein häufiger Fehler besteht in der physikalisch unkorrekten Annahme der Randbedingungen, welches dann zu einer falschen Spannungsverteilung und falschen Auflagerreaktionen führt.
- Ein weiterer Fehler ist, dass die ausgewählten Elemente die Reaktionen des Bauteils nur unzureichend wiedergeben, wodurch die tatsächliche Spannungsverteilung nicht erfasst wird.
- Des Weiteren kann es sein, dass zu stark vereinfachte Körpergeometrieverläufe zu nicht vorhandenen Spannungsspitzen führen.
- Informationsquellen (Material, Berechnung)
- Das Netz einfach zu grob gewählt wurde, um verlässliche Aussagen machen zu können.

8.

- Kundenzufriedenheit herstellen durch eine aufgabenorientierte Lösungsfindung.
- Aufzeichnung des FE-Einsatzes und deren Ergebnisse
- Bewertung, Verifizierung und Validierung von FE-Ergebnissen. Und eine Bescheinigung der Richtigkeit durch eine Fachperson oder dessen Vorgesetzter (Unterschrift).

9.

Die Chancen der Produktentwicklung ergeben sich aus

- der Verkürzung von Entwicklungszeiten,
- der Reduktion von Herstellkosten und Einsparung von Ressourcen,
- der Innovation und Kreativität,
- der Erzielung höherer Qualität und
- der unverzüglichen Erfüllung zunehmend strengerer Normen.

10.

Das Potential computerunterstützter Simulation ist gewaltig. Es wird aber erst dann voll ausgeschöpft, wenn anstelle der traditionellen, tayloristischen Bearbeitung ein simultaner, teamorientierter und abteilungsübergreifender Konstruktionsprozess tritt und dies vom Management getragen wird. Und: die Simulation ist in allen Phasen der Produktentwicklung wichtig. Die frühe Simulation bereits in der Produktplanung (Produktdefinition, Vorentwicklung) ergibt den grössten Nutzen.

11.

FEM wird heute in allen Brancheneingesetzt: in der chemischen Industrie ebenso wie in der Antriebstechnik, in der Elektronik, in der Freizeit- und Konsumgüterindustrie und in der Medizintechnik. In Zukunft werden Anwendungen in der Prozess-Simulation an Bedeutung gewinnen, um Fertigungskosten und Materialkosten zu reduzieren. Hier sind zu nennen:

Metallumformung, z.B. Walzen, Schmieden, Blechtiefziehen oder Innenhochdruckumformung, Blasformen, Pulvermetallurgie, Giessen, Spritzgiessen oder Metalldruckgiessen.

12.

Aufgaben:

- Naturnahe Idealisierung
- Korrekte Einleitung der Kräfte
- Anpassung der Dimensionen und Form (Durch Kräfte bestimmt)

Anforderungen:

- Grundwissen über die Mechanik, Statik, Dynamik (Im untersuchten Bereich)
- Kennt die Möglichkeiten und Grenzen der FEM-Analyse
- Kann seine Resultate auf Plausibilität prüfen

13.

CAE (Computer aided Engineering)

14.

CAD-Programm → Schnittstelle → Pre-Prozessor → FEM-Programm → Post-Prozessor

15.

Die Alternative sind „stand alone“ Systeme

16.

Ein Schnittstellenprotokoll (IGES, VDA, FS, Step) ist eine Datei die erzeugt wird, wenn die Geometrie an das FE-Programm übertragen wird. Im FE-Programm werden die Dateien wieder umgesetzt (keine Direktkoppelung). Dieses Protokoll kann üblicherweise verlustfrei übertragen werden.

17.

IGES, VDA, FS, Step

18.

Wenn möglich eine Direktkoppelung vorsehen. Bei einer indirekten Koppelung sind die spez. Vor- und Nachteile zu berücksichtigen.

19.

- Materialnichtlinearität (Inhomogenes Material)
- Geometrische Nichtlinearität (grosse Verformungen bei kleinen Spannungen)

20.

- Falsche Annahme des Verhaltens des Werkstoffes.
- Falsche Randbedingungen (Temperaturen, Äussere Einwirkungen, Lastfälle)
- Unkorrekte Beurteilung von nichtlinearen Stellen (singuläre Stellen)

21.

- Strike Abfolge (vordefinierte Schrittweise) beachten
- SI-Einheitensystem anwenden
- Auswahl eines falschen Elementes
- Krafteinleitung (Masternode)
- Falsche Vernetzung (Tetraeder, Kubisch); Free Mesh – Mapped Mesh
- Solverfunktionen beachten (nach jeder Änderung – neue Rechnung starten)

22.

Da das Programm ohne Masseinheiten rechnet, sind alle einheitlich (SI-Einheiten) anzunehmen (meist mm). Wichtig: Die Erdbeschleunigung kann immer mit 9.81 m/s^2 angenommen werden.

23.

- Art des Gleichungslösers
- Netzfeinheit
- Zu starke Idealisierung; Vereinfachung

24.

- Verschiedene Netze anwenden
- Modellaufbau mit verschiedenen Elementen realisieren
- Mehrere Anwender überprüfen die gleiche Problemstellung
- Verschiedene Programme benutzen

	Anwender	Programm-Handhabung
Pre-Processing	<ul style="list-style-type: none"> • falsche Idealisierung • schlechte Elemente • verletzte Kompatibilität • ungenaue Materialdaten 	<ul style="list-style-type: none"> • schlechte Vernetzung • schlechte Elementformulierung • keine Warnungen (Elementcheck)
Lösungsverfahren	<ul style="list-style-type: none"> • falsche Randbedingungen • falsche Lösungsverfahren • zu grobe Konvergenzkriterien 	<ul style="list-style-type: none"> • zu ungenauer Gleichungslöser • ungenaue Rückrechnung • keine Warnungen
Post-Processing	<ul style="list-style-type: none"> • falsche Selektion 	<ul style="list-style-type: none"> • falsche Mittelung • falsche Darstellung • keine Warnungen

KONZEPT DER FEM

25.

Aus mathematischer Sicht stellt die FEM die Spannungs-Dehnungsgleichung in Matrizenform dar.

26.

Algebraische Grundgleichung $[K] \cdot \{u\} = [F]$ (K = Steifigkeitsmatrix; u = Verschiebungsfaktor, F = Kraftfaktor)

27.

Elementklassen: Linien, Flächen, Volumen

Elementtypen: Stab, Balken, Scheiben, Platten, Schalen

28.

- Stabelement : 2 Freiheitsgrade
- Balkenelement : 3 Freiheitsgrade
- Scheibenelement : 2 Freiheitsgrade
- Schalenelement : 6 Freiheitsgrade
- Plattenelement : 3 Freiheitsgrade
- Volumenelement : 3 Freiheitsgrade

29.

Freiheitsgrade geben die möglichen Verschiebungen eines Knotens an.

30.

Kontinuum = Material, Stoff, Volumen

Kontinuumselemente sind Elemente, die nur translatorische Freiheitsgrade besitzen. (Scheibenelement, Stabelement, Volumenelement)

31.

Strukturelemente = real constant muss gesetzt werden / Translatorische und rotatorische Freiheitsgrade (Balken-, Platten- und Schalenelement)

32.

- 2 Freiheitsgrade am Knoten: Verschiebung u_x, u_y
- Geometrie: 2-Dimensional, geeignet für schlanke, langgestreckte Bauteile
- Mindesteingabe: Elastizitätsmodul, Querschnittsfläche

33.

- 3 Freiheitsgrade am Knoten: 2 Verschiebungen (u_x, u_y), 1 Rotation (ROTz)
- Geometrie: 2-Dimensional, geeignet für schlanke, langgestreckte Bauteile
- Beanspruchung: Längs- bzw. Normalspannungen, Schubspannungen, Biegespannung

34.

- 3 Freiheitsgrade am Knoten. 1 Verschiebungen (u_z), 2 Rotationen (ROTx, ROTy)
- Geometrie: 3-Dimensional, geeignet für flächige Bauteile
- Beanspruchung: Biegespannungen im Element (linearer Verlauf zwischen Ober- und Unterseite)

35.

- 3 Freiheitsgrade am Knoten: 3 Verschiebungen (u, v, w)
- Geometrie: 3-Dimensional, geeignet für allgemeine, voluminöse Bauteile
- Beanspruchung: Normal- und Schubspannungen in alle 3 Raumrichtungen, Dehnungen ebenso

36.

- 6 Freiheitsgrade am Knoten. 3 Verschiebungen (u_x, u_y, u_z), 3 Rotationen (ROTx, ROTy, ROTz)
- Geometrie: 3-Dimensional, geeignet für flächige Bauteile (Veränderliche Dicke möglich)
- Beanspruchung: Membran-, Biege- und Schubspannung im Element (linearer Verlauf zwischen Ober- und Unterseite)

37.

Zu den Randbedingungen zählen Lagerbedingungen und Lasten. Lagerbedingungen werden durch gezieltes Einschränken der Freiheitsgrade realisiert. Die Lasten können als Punkt-, Strecken- oder Flächenlasten aufgebracht werden. (Einleitung durch einen oder mehrere Knoten)

38.

Körper, der sich nicht deformiert. (Gebraucht in der Statik beim Berechnen der Kräfte)

39.

Eine Diskontinuität ist eine Unstetigkeit in der Geometrie. Oder ein Übergang zwischen zwei Materialien.

40.

Bei derartigen Unstetigkeiten sollten sie darauf achten, jede Seite des Steifigkeitssprunges getrennt zu behandeln. (Kerbe mit Radius versehen)

41.

Nur Dehnungen in z-Richtung, keine Spannungen in z-Richtung

42.

Nur Spannungen in z-Richtung, keine Dehnungen in z-Richtung

GENERELLES ZUR DURCHFÜHRUNG VON FEM-ANALYSEN

43.

Durch die Idealisierung wird eine komplexe Struktur so vereinfacht. So kann sie mit möglichst wenig Aufwand im FEM-Programm eingegeben werden, ohne dass eine Verfälschung der Realität eintritt. (Symmetrien ausnutzen)

44.

Das Preprocessing umfasst die Vorbereitung der Daten für die FEM-Berechnung, wobei die Eingabe der Knoten und Elemente den grössten Anteil ausmacht. (Geometrie, Elementwahl, Vernetzung, Verfahren)

45.

- Elementsteifigkeit erstellen
- Struktursteifigkeit ausbauen
- Lastvektor erstellen
- Gleichungssystem aufbauen und Randbedingungen einbauen
- Gleichungssystem auflösen nach den unbekanntem Verschiebungen
- Elementverschiebungen bestimmen
- Dehnungen und Spannungen in den Elementen bestimmen

46.

- Auswerten der Ergebnisse
- Farbschattierte Bilder
- Höhenlinienplots
- Tabellen
- Diagramme

47.

- Geometrieerstellung in einem CAD (Extern)
- Geometrieerstellung im FEM-Programm (Linien, Flächen zusammensetzen, Volumenkörper zusammensetzen)

48.

Direkt : Netzbildung direkt auf den Knoten aufbauen

Indirekt : Netzbildung auf einer Geometrie aufgebaut

49.

- Erfüllen der Partnerregel (Deckung der Knoten)
- Gleichmässigkeit
- Verzerrungsprüfung
- Seitenverhältnisprüfung
- Spitzenwinkligkeitsprüfung

50.

Je grösser die Elementdichte, desto kleiner der Fehler.

51.

Bei Bauteilen mit symmetrischer Geometrie und Belastung.

52.

Punktlast, Streckenlast, Druck (Spannung)

53.

Verknüpfen = Verbinden, Freiheitsgrade der Knoten werden gleichgesetzt. (Knoten in Beziehung bringen; Verschiebungen müssen gleich sein).

54.

Randknoten und die Elementart (ohne oder mit Mittelknoten) müssen übereinstimmen.

55.

Durch gezieltes einschränken der Freiheitsgrade.

56.

Beim zusammensetzen von Elementen (Zylinder in Balken); Fläche unter der U-Scheibe bleibt flach.

57.

Feinere Vernetzung führt zu einer Spannungssteigerung, welche bei einem maximalen Wert konvergiert.

58.

- Konvergenzanalyse
- Überschlagsrechnung von Hand
- Vergleich mit praktischen Messungen
- Berechnung mit unterschiedlichen Lasten
- Erfahrungsschatz

59.

Netzverfeinerung vorantreiben, bis die Spannung nicht mehr ansteigt. (Singularität überprüfen)

PREPROCESSING UND MODELLGENERIERUNG

60.

Geometrie, Elementwahl, Material, Randbedingungen (Lasten und Lagerungen), Netz

61.

- Geeignete Elementauswahl
- Symmetrie ausnutzen
- Korrektes Aufbringen der Lasten

62.

Additive- oder Subtraktive Modellgenerierung

63.

Globale-, Lokale- und Elementkoordinatensystem (zylindrisch- und sphärisch)

64.

Eigenschaften des Elementes

65.

Free-(Refine) oder Mapped Mash. Freemash wird automatisch erzeugt. Es besteht die Möglichkeit bestimmte Zonen zu „refinieren“ Beim Mapped Mash wird die Art (Kubisch und Tetraeder) vom Anwender ausgewählt. Die Grösse der Elemente ist bei beiden Arten vom Anwender zu bestimmen.

66.

Gleich wie 65.

67.

- Gleichmässigkeit. Wenn möglich, keine Elementmischungen.
- Verzerrungsprüfung
- Seitenverhältnisprüfung
- Spitzenwinkligkeitsprüfung
- Überkrümmungsprüfung

68.

Eine optimale Elementdichte ergibt die genaueste Lösung

69.

Wenn es regelmässig ist.

70.

Unterteilung der Strecke oder Eingabe der Elementgrösse

71.

- Erfüllen der Partnerregel
- Gleichmässigkeit
- Besser Vierecke benutzen anstatt Dreiecke (Genauigkeit)
- Unstetigkeiten refinieren

72.

Oberflächennormale steuert die Orientierung der Elementfläche

73.

- Erfüllen der Partnerregel
- Nur Elemente gleichen Typs verwenden

74.

Initial Strain anwenden (Vordehnung einbauen)

BELASTUNGEN UND LÖSUNGSPHASE

75.

Punkt-, Strecken und Flächenlast

76.

Durch gezieltes Einschränken von Freiheitsgraden

77.

Checken welche Freiheitsgrade schon eingeschränkt wurden; Fehlermeldungen beim Solven beachten

78.

- Elementsteifigkeit erstellen
- Struktursteifigkeit ausbauen
- Lastvektor erstellen
- Gleichungssystem aufbauen und Randbedingungen einbauen
- Gleichungssystem auflösen nach den unbekanntem Verschiebungen
- Elementverschiebungen bestimmen
- Dehnungen und Spannungen in den Elementen bestimmen

79.

- Direkte Gleichungslöser
- Indirekte Gleichungslöser (nach Cholesky)

POSTPROCESSING

80.

- Konvergenzanalyse
- Überschlagsrechnung von Hand
- Vergleich mit praktischen Messungen
- Berechnung mit unterschiedlichen Lasten
- Erfahrungsschatz

81.

Dehnung, Spannung, Lagerkräfte, Temperaturen

82.

Grafische Darstellung (3-D), Diagrammverläufe, Tabellen

83.

Ober- und Unterseite müssen richtig definiert werden. Weiter wird bestimmt, wo die Kraft im Abstand zur Mittelachse aufgebracht wird.

84.

Spannungsspitzen müssen genauer untersucht werden.

85.

von Mises Spannung, 1., 2., und 3. Hauptspannung

86.

Mischung aus Schub- und Normalspannungen, welche der Realität entspricht.

BEULANALYSEN

87.

- Stabknicken
- Beulen von Flächenstrukturen
- Kippen
- Drillknicken

88.

Durch bestimmen der Resultate ergibt sich der Instabilitätspunkt (von da an knickt die Struktur).

89.

- Eigenwertbeulanalyse (lineare Berechnung → liefert meist nicht sichere Resultate)
- Nichtlineare Berechnung

90.

Proportionalitätsfaktor λ . Er beschreibt den Eigenwert der Matrix

91.

1. statische Berechnung → Steifigkeitsmatrix
2. solven → Eigenwert der Matrix (Eigenwert * Kraft = kritische Beulkraft)