Studiengang Mechatronik

Modul 16:

# FEM – Finite Elemente Methode

### - 2. Übung -

Prof. Dr. Enno Wagner

7. November 2024



### Übersicht

### • Lochplatte

- Konstruktion
- Simulation
- Interpretation
- Konstruktionsstudie



2. Übung: Lochplatte



00 PRT\_CSYS\_DEF Das Lochblech wird mit der Kraft F  $_{li}$ belastet ( $F_{re} =>$  Reaktionskraft)Parameter:Material: S235jrE-Modul = 210000 Nmm<sup>-2</sup>Kraft: $F_{li} = 1000 N$ 

Nutzen Sie die Symmetrie!



#### a) Ermitteln Sie folgende Größen:

- Von Mises Spannung  $\sigma_v$
- Verschiebung
- Element-Anzahl (variieren)
- CPU Rechenzeit

Wie verändern sich die Werte bei einer Erhöhung der Element-Anzahl ?

#### b) Führen Sie eine Konstruktions-Studie durch:

- Durchmesser d = 60 ... 90 mm
- Variation in 10mm-Schritten

Zeigen Sie den Einfluss anhand einer Grafik für  $\sigma_v = f(d)$ 



### Vorgehen bei der FEM



FEM – Prof. Dr. Enno Wagner



### Voreinstellungen

Bitte zu Begin jeder CAD-Sitzung Voreinstellungen durchführen!

- Arbeitsverzeichnis festlegen:
- ⇒Datei / Sitzung verwalten / <u>Arbeitsverzeichnis auswählen</u>
- ⇒Übungsordner anlegen
- Einheiten einstellen:
- ⇒Datei / Vorbereiten / Modelleigenschaften / <u>Einheiten</u>

⇒Immer auf "mmNs" einstellen !

		Modelleigenschaften			
🖂 Materialien					
Material	Master: PTC_SYSTEM_MTRL_PROPS	Zugewiesen: 1		Ändern	$ \mathbf{\bullet} $
Einheiten	Millimeter Newton Sekunde (mmNs)	>		Ändern	
Genauigkeit	Absolut 0.009906			Ändern	
Masseneigenschaften			0	Ändern	$\odot$
Beziehungen, Paramete	er und Varianten				
Beziehungen	Nicht definiert		0	Ändern	$\overline{\mathbf{O}}$
Parameter	4 definiert		0	Ändern	$\odot$
Variante	Nicht definiert	Aktiv: Generisches Teil - TESTBALKEN01		Ändern	
KEs und Geometrie					
Namen	4 definiert			Ändern	
Werkzeuge					
Flexibel	Nicht definiert			Ändern	
Schwindung	Nicht definiert		0	Ändern	$\overline{\mathbf{O}}$
Vereinfachte Darstellung	2 definiert	Aktiv: Master-Darstellung	0	Ändern	
Pro/Program			0	Ändern	
Austausch	Nicht definiert			Ändern	
🔀 Modellschnittstellen					
Referenz und Sicherung	Standardeinstellungen			Ändern	•
		Schließen			



#### Bitte zu Begin jeder CAD-Sitzung Voreinstellungen durchführen!

- Material zuweisen:
- ⇒Datei / Vorbereiten / Modelleigenschaften / <u>Material</u>
- ⇒Standard: Baustahl
- ⇒Standard Materials / Ferrous\_metalls / Steel\_low\_carbon
- ⇒Rechte Maustaste: <u>zu Modell</u> <u>hinzufügen</u>



### Material



### CAD Konstruktion

#### **CAD Konstruktion des Lochblechs**

- Arbeitsverzeichnis => Ordner FEM
- Neues Teil: "Lochplatte\_Uebung2"
- Skizze Querschnitt
- Bohrung
- Material zuweisen: Baustahl (C-arm)
  - Einheiten: mmNs (nur zur Kontrolle)



9

### Symmetrie nutzen

#### Symmetrische Randbedingungen

- Anzahl Elemente und CPU-Rechenzeit minimieren
- Systemaufwand reduzieren (Wegfall von Randbedingungen)
   <u>Bedingungen</u>
- Geometrie muss symmetrisch sein
- Randbedingungen müssen symmetrisch sein

### Vorgehen in Creo Part

- Anwählen einer Ebene, die Symmetrieebene ist
- Verbundvolumen
- die zu entfernende Hälfte wählen
  - => Ein Viertel für Berechnung verwenden!









Simulate

#### => Creo Simulate aufrufen

creo <sup>,</sup>	D 🖻	n n	OI - 👪	<b>₩</b> × ∞ <b>▼</b>			TESTB	ALKEN01	(Aktiv) D:\Cre	o10\Uebu	ngen_WiS		4\testb	alkenvi.p	ort.1 -	Cr
Datei	Modell	Anal	yse	Live-Simulation	Anmerk	ungen erstellen	Werkzeug	ge	Ansicht	Flexible	Modellie	erung	A	nwendur	igen	
		Ç						$\bigoplus$	±.01	٢						
Schweißen	Spritzguss/ Guss	Generatives Design	Ansys Simulation	Simulate Simu Ergel	ulate Flow onisse Analysis	Spritzgussanalyse	PTC Mathcad ▼	GD&T Advisor	EZ Tolerance Analysis	Render Studio						
	Konstruktion			Si	mulation		Berechnung		GD&T	Rendern						
₽ 3 2 7		<mark>∛   ≣⊤</mark>	» ₪, • +							[	Q. Q.	9, [	2 3	. 🗖 🤇	<b>a</b> j 6	3
TESTB/ TESTB/ Kons J. DEF/ OR RIGH TOP	ALKEN01.PRT struktionselem AULT_CSYS IT	ente														
⊢ ∠/ FRO	NT I 1								v A							



### Materialdefinition in Creo Simulate

Das Material muss immer zunächst in die Sitzung geladen werden, bevor es verwendet werden kann (siehe Folie 7)

- Materialzuweisung
- Neues Fenster öffnet sich
- Material auswählen: hier: steel\_low\_carbon

Mare MaterialAssign1 Referenzen Komponenten	terialzuweisung	X	beschrankungen *		
Referenzen Komponenten					
T IL TECTO AL MENIOL	DIST	•			
IEII: TESTBALKENUT	.PKI		Υ.		
Eigenschaften Material STEEL_LOW_CARBON	>	▼ Mehr			
Materialorientierung (Keine)		▼ Mehr			



### Lastbedingung

#### Last: Kraft auf Fläche



- Kraft/Moment anwählen
- Fläche: vordere breite Fläche anwählen
- Kraft eingeben:  $F_z = 1000 \text{ N}$



	01110110000	
Name		
Load1		
Mitglied des Satzes		
LoadSet1		-
Referenzen		
Flächen		
Flächen : 💿 Einzeln 🔿 Berar	ndung O Abs	sicht
Flächensätze Eigenschaften		
Koordinatensystem:	Ausgewählt	
z Hx GKS		Erweite
Kraft	Moment	
Komponenten 🔻	Komponente	en
× 0	X 0	
Y <b>0</b>	Y 0	
z 1000	Z 0	
N <b>*</b>	mm N	



### Randbedingung

### **Randbedingung: Symmetrie**

- Beschränkungen / Symmetrie
- Name: Spiegeln\_1
- Flächen wählen
- Für zweite Fläche wiederholen



Symmetrie-Randbedingu	ing ×
Name	
Spiegeln_1	2
Mitglied des Satzes	
Spiegeln 🔻 N	eu
Тур	
Spiegeln	-
Referenzen	
Punkte, Kanten, Kurven, Fl	ächen
Fläche	
OK Abbred	hen



### **Bewegung in Y-Richtung sperren**

- zur vollständigen Definition muss die Bewegung in Y-Richtung gesperrt werden
- Fläche anwählen
- Translation für Y sperren (fest)

## Randbedingung





#### Netz generieren (probeweise)

#### • AutoGEM

- Alle mit Eigenschaften
- Erzeugen
- Netz begutachten
  - Anzahl Elemente
  - Anzahl Knoten
  - Kantenwinkel
  - Etc.







### Netz verfeinern

### Netz / Einstellungen

- AutoGEM / Einstellungen
  - Z.B. Element-Typen (Keile, etc.)
  - Grenzwerte, Winkel, ...
- AutoGEM / Elementgröße



- Auf Fläche (Referenz)
- Anzahl eingeben (Bsp. 10 mm)





Analyse

#### **Statische Analyse**



- Startseite / Analysen und Studien
- Datei / Neue Statische Analyse
- Name: "Analyse\_Uebung2" (Adaptive-Einschritt-Konvergenz)
- Analyse starten
- Studienstatus anzeigen

		Analysen und Kon	struktionsstudien		×
Date	i Editieren Reche	enlauf Informationen	Ergebnisse		
/ Ana	lysen und Konstruktionsst	🟭 📰 📑 🕄 🗄 udien	1		
	Name	Тур	Status		
~	Analyse_Uebung1	Standard/Statisch	Abgeschlossen		
- B	Arbeits- und P Rechnertyp: RAM-Zuteilun	rbeits- und Plattenspeicher-Belegung: Rechnertyp: Windows 64 RAM-Zuteilung für Gleichungslöser (MB): 512.0			
	Gesamte vers Gesamt-CPU-Z Max. Speiche Arbeitsverze	trichene Zeit (Seku eit (Sekunden): rbelegung (KB): 646 ichnis-Plattenbeleg	unden): 1.95 1.51 5088 gung (KB): 4096		
_	Ergebnisverz 2502 .\Analy	eichnisgröße (kilob se_Uebung1	oytes):	cł	nließen
	Rechenlauf abg Thu Oct 24, 20	eschlossen 19 00:43:03			



### Ergebnisse darstellen

### Ergebnisse einer Studie öffnen

18		
ō	_	
÷0	-	
-0		1
10	_	

- Studie auswählen und anzeigen
- Größe: Spannung, von Mises
- Darstellungsoptionen:
  - Farbübergang
  - Verformt
  - Animieren

	Ergebnist	fensterdefinition X
Name	Titel	
Window1		
Studienauswa Konstruktionsst	ıhl	Analyse
Analy	se_Uebung1	Analyse_Uebung1 🔹
Darstellungst	ур	
Farbfläche		-
Größe Dar	stellungsort Darste	ellungsoptionen
<ul> <li>✓ Farbüberg</li> <li>Legendenstufe</li> <li>Isolinie</li> <li>Beschriftu</li> <li>Isoflächer</li> </ul>	gang en <u>9 ×</u> Ing n	<ul> <li>Verformt</li> <li>Überlagern unverformt</li> <li>Transparente Überlagerung</li> <li>Skalierung 10</li></ul>
	ОК	OK und anzeigen Abbrechen



### Graf anzeigen

				Ergebnistenst	erdefinition
				Name Titel	
Öffnan Analysa Habung?	11			Window2	
Officer "Analyse_Oebungz	•			Konstruktionsstudie	Analyse
			opieren	Analyse_Uebung1	Analyse_Ue
	Öffnen Aus Schablone	Standard Editieren	Dynamische	Darstellungstyp	
<ul> <li>Darstellungstyp: Graph</li> </ul>	öffnen	öffnen 📑 A	le schließen Abfrage	Graph	
8 71 1	'Window1" - Analyse_Uel			Größe Darstellungsort Darstellungsoptionen	
• Von Mises	Spannung	🛨 📄 🔻 🛅 🕨 fb2-wa	gner-y1 🕨 Daten (D:) 🕨	(Vertikale) Ordinatenachse darstellen	
Ventimes	Bild 12 von 12 (MPa)	🗇 Organisieren 🗸 📗 A	nsichten 🗸 🎁 Werkzeuge	Spannung  MPa	
• Koordinato	Verformt	Gemeinsame Ordner	Analyse_Uebung1	von Mises	
KOOIUIIIate	Skala 2.3793E+01 Lastsatz:LoadSet1 : I	Desktop	Analysis1		
· Futlang Kumua /Dahuung		Eigene Dokumente	Analysis1_test_ew	Relativ zu	
<ul> <li>Entlang Kurve/Bonrung</li> </ul>		f tb2-wagner-y1	Analysis2	Koordinate 💌	k z <sup>y</sup> ⊥∗ GKS
				Komponente	1
				Z	
				Ort des Graphen	
				Kurve	
				Nicht definiert	
					OK
07 11 2024	EEN	1 - Prof Dr Enna W	anor		
07.11.2024	FEN		BUCI		19



### Analyse der maximalen Spannung





#### Weitere Aufgaben:

- Netz verfeinern (Elemente-Größe, max. 10 mm)
- Vergleich von
  - Anzahl Elementen und Knoten
  - Polynomgrad
  - CPU-Zeit
- Durchmesser Bohrung variieren (60/70/80/90)
- Für jede Rechnung maximale Spannung notieren
- Diagramm  $\sigma_v = f(d)$  erstellen



### Viel Erfolg !



#### **Hinweis**

Diese Folien sind ausschließlich für den internen Gebrauch im Rahmen der Lehrveranstaltung an der Frankfurt University of Applied Sciences bestimmt. Sie sind nur zugänglich mit Hilfe eines Passwortes, dass in der Vorlesung bekannt gegeben wird.