Kapitel 14: FEM-Analyse einer großen CAD-Baugruppe

Eine CAD-Baugruppe aus Inventor wird mit 7 bar Innendruck belastet, wie hoch sind die Verformungen und Spannungen mit FEM-System MEANS V12.

CAD-Baugruppe



CAD-Einzelpart erzeugen

Löschen Sie nun im CAD-System alle unrelevanten Bauteile wie Schrauben, linker Flansch, Stutzen und vereinen das Modell zu einem einzigen großen Einzellteil ohne jegliche Unterbaugruppe und exportieren es als STEP-Modell.



Beenden Sie nun das CAD-System und starten das FEM-System MEANS V12 um diese STEP-Datei mit dem 3D-Netzgenerator Netgen zu vernetzen.

🖳 Fem	-Syster	m MEAN	IS V11	für DirectX11						
A	0	8 🖸	÷							
U	Date	ei A	nsicht	Netzgen	erierung FEM	-Projekt bearbeiter	n FEM-Ar	nalyse Erg	gebnisauswertung Training	
		k			Zuladen Vereinen	Importieren Exportieren	MEANS- SHELL		1. C:\projekte\kugelventil\Kugelventil.fem	•
Neu	L Fa	Einlad	en 🕞	Sichern 🕞	Baugruppen 🕞	Schnittstelle 🕞	Extern 🕞	Pfade 🕞	Zuletzt geöffnete FEM-Projekte	Fx

Wählen Sie die Registerkarte "Datei" und wählen "Neu" um ein neues FEM-Projekt zu erstellen.



Wählen Sie "3D-Tetraeder-Netzgenerierung (STL, STEP, IGES).

Es erscheint eine Dialogbox, hier werden folgende CAD-Formate angezeigt:

STL	besteht aus einer Dreiecks-Außenhülle für die 3D-Netzgenerierung
STEP	besteht aus Solid-Elementen und ist das heutige Standard-3D-Format
IGES	wie STEP-Format aber nicht mehr so verbreitet

Selektieren Sie mit "Browser" die STEP-Datei und klicken auf "Netzgenerator Nr. 2 mit CAD-File starten" damit es im Netzgenerator dargestellt wird.

🛃 3D-Netzgenerato	r		<u> </u>		×
Directory: C:\projekt	e\oebke\neu\ O IGES	O STL / AST (ASCII)	Browser Default Help	
vereinfacht_ohne_sc vereinfacht_ohne_sc	hrauben_part.step hrauben_part_cf.stp				
STL-Optimierer	her optimieren lassen (emp n Tests	fohlen z.B. bei Absturz in NGSc	olve)		
Netzgenerator	r. 2 mit STL-/STEP-/IGES Nr. 2 mit CAD-File starten	mit Fehleranzeige/Recer	nt File	Hinweis]
– 3D-Netzgenerator N Netzgen	Ir. 3 mit STL-File starten — erator Nr. 3 starten	Netzdichte: 0	~		
		Cancel			

Das Modell ist jetzt im Netzgenerator zu sehen und kann beliebig gedreht werden.



Wählen Sie das Menü "Mesh" und "Meshing Options" und generieren mit der Netzdichte "moderate" und dem Hauptmenü "Generate Mesh" ein FEM-Netz.

Das FEM-Netz besteht jetzt aus 77708 Knoten und 376632 Tetraederelementen.



Nach der Netzgenerierung muß das FEM-Netz mit Namen "test.fem" exportiert werden. Wählen Sie das Menü "File" und "Export Mesh" und speichern das Netz "test.fem" in den vorgegeben Debug-Mesh-Pfad.

Nach dem Export von "test.fem" wird MEANS V12 automatisch gestartet und erzeugt zuerst das Flächemodell damit Flächen, Kanten und Knotenpunkte für Belastungen, Randbedingungen oder Elementgruppen selektiert werden können.



Flächenmodell

Nach der Netzgenerierung wird das Flächenmodell mit der Option "wenig Flächen" mit 119 Flächen erzeugt.

Das Flächenmodell ermöglicht nun die einzelnen Flächen für die Erzeugung der Randbedingungen oder Flächenlasten zu selektieren.

Ebenfalls können mit dem Flächenmodell äußere Flächen ausgeblendet werden um damit den Modell-Innenraum weiterzubearbeiten um z.B. den Innendruck erzeugen zu können.



Randbedingungen erzeugen

Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und klicken auf das Icon "Rendbedingungen" um das Modell an den Flanschbohrungen fest einzuspannen.

Datei	Ansicht	Netzgenerierung	FEM-Projekt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisa	auswertung	1
elastungen E	1. Knotenbel Pelastunge	astung 👻 Ran	dbedingungen Ⅰ. Randbed I. Randbed Randbed Fi	dingungen 🔹 lingungen darstellen lächen-Modus aktivie	Elemen ert - Fläche=	tgruppen = 30	Ma
		🖳 Rand	pedingungen		-		
		Anzahi Wert d (Achs Selec @ F @ K	Randbedingungen aktuell: 1 er Randbedingung: 1E-10 isgrad sperren: in X-Rich in Y-Rich an-Farben: SCHWARZ: X-Achse; BL tieren ächenmodus () nzelne Knoten anklicken ()	1983 Neu tung in Z-R tung ⊠ Einspa .AU: Y-Achse; ROT: Z-Aol O Rechteck aufspann alle angezeigten Kn alle angezeigten Su	ichtung innung hse) en oten wählen ifaces wähle	n	e.
		Rand	bedingungen darstellen: .000	034 noma	al V		

Wählen Sie "Randbedingungen erzeugen" und klicken auf die einzelnen Flächen. Zum Schluß in der Selectbox "Erzeugen" wählen um die RBs zu erzeugen.



Innendruck erzeugen

Das Gehäuse wird mit einem Innendruck von 7 bar bzw. 0.7 N/mm² im Innenraum belastet.

Innenflächen für den Innendruck ermitteln

Zuerst müssen die Innenflächen für den Innendruck ermittelt werden. Wählen Sie dazu Ansicht sowie "Flächen ein- und ausblenden". Im neuen linken Fenster zuerst "Alle Flächen ausblenden" und dannach die Flächen 3, 10, 20, 26 und 40 einblenden.

Dannach wählen Sie wieder "Alle Flächen einblenden" und erzeugen im nächsten Schritt die Flächenlast.



Flächenlast erzeugen

Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Flächenbelastung" um eine Flächenlast zu erzeugen.

0 1	÷ 💽 =	
Datei	Ansicht Netzgenerierung	FEM-Projekt bearbeiten FEM-Analys
Eelastungen	3. Flächenbelastung - Belastungen darstellen Rand	bedingungen 1. Randbedingungen - Randbedingungen darste Flächen-Modus al
	🖳 Flächenlast erzeugen	- 🗆 X
	Aktueller Lastfall: 1	- +
	Anzahl Lastwerte: 0	Neu
	Wert der Flächenlast: .7	(Einheit z.B. in N/mm²)
	ungleich entlang Z-Achse W2	= 🗸
	Freiheitsgrad: O X-Richtung	O Z-Bichtung
	O Y-Richtung	 senkrecht zur Fläche
	(Achsen-Farben: SCHWARZ: X-Achse;	BLAU: Y-Achse; ROT: Z-Achse)
	Selektion:	
	Hachenmodus einzelne Knoten anklicken	Alle angezeigten Knoten
	Koordinatenbereich definieren	alle angezeigten Surfaces
	Flächenlast-Wert (N/mm²) a	aus Belastung (N) berechnen
	Cancel Editor	Belastung erzeugen
		Belastung löschen

Geben Sie den Wert "0.7" ein und wählen "Belastung erzeugen"

Jetzt klicken Sie auf die Flächen im rechten Fenster nacheinander auf 3, 10, 20, 26 und 40. Diese werden in der Selectbox angezeigt, dort mit "Erzeugen" wird die Flächenlast erzeugt.



Materialdaten eingeben



Wählen Sie die Registerkarte "FEM-Projekt bearbeiten" und wählen Materialdaten um die Materialdaten wie das Elastizitätsmodul und Poisson-Zahl einzugeben wobei Stahl immer voreingestellt ist.

	Materialdaten				
	Bezeichnung	Materialwerte			
ŀ	E-Modul	210000			
	Poisson-Zahl	.3			
	Dichte	7.8E-06			
	Waermekoeffizient	1.2E-05			
E	lementgruppe: 1	Elementtyp: TET-	4	<	>
E	lementgruppe: 1	Bementtyp: TET	4	۲	>
E	lementgruppe: 1	Elementtyp: TET. O Anisotn	4	٢	>
E	lementgruppe: 1 Sotrop	Elementtyp: TET. O Anisotr	4 0p	<	>
•	lementgruppe: 1 (in) Isotrop Material-Datenbar	Elementtyp: TET. O Anisotn	40	<	>
E	lementgruppe: 1 Sotrop Material-Datenbar	Elementtyp: TET. O Anisotn	4 op O	<k< td=""><td>></td></k<>	>

FEM-Analyse

Vor der FEM-Analyse sollte immer das Modell mit der Registerkarte "Datei" und "Sichern" unter einem Namen z.B. "netz4.fem" in das Projekt-Verzeichnis gesichert werden.

Es folgt eine FEM-Analyse mit Registerkarte "FEM-Analyse" und wählen das erste

Dropdownmenü "1. Statik" und klicken auf das Solver-Icon um die FEM-Analyse zu starten.

Wählen Sie für größere FEM-Strukturen über 100000 Elementen den schnelleren Quick-Solver. Dieser bietet drei Precision-Genauigkeitsstufen an:

- Precision-Genauigkeitsstufe 1: Lineares TET4 bzw. C3D4-Tetraederelement
- Precision-Genauigkeitsstufe 2: Lineares TET4X8 mit intern 8x feinerem Netz
- Precision-Genauigkeitsstufe 3: Quadratisches TET10 bzw. C3D10

Es gilt: Umso höher die Stufe desto genauer aber auch zeitintensiver wird die FEM-Berechnung.

- 🚺 🕈 🚺 🗧					I	EM-Syst	em MEANS V
Datei Ansichten Netzger	nerierung F	EM-Projekt b	earbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisausw	ertung	Training
1. Statik 1. Statik 2. Dynamik 3. Temperatur 4. Beulen 5. Geometrisch Nichtlinear	FEM-Solver wä Ergebnisgröße FEM-Ab	ählen en wählen Ilauf 🕞	Infos zum F Modell-Abi Infos Stru	EM-Modell messungen kturmodell 🗔	FEM-Assistent 🕞		
 Kontaktbedingungen Material-Nichtlinear Ermüdungsanalyse Behälterbau-Analysetool 		FEM-Analyse C:\projekte\3 Select Solve	e starten 100x300_IPE-F r O MEAN Sci	Profil\statik\tet4.fer IS-Solver (hritt 1: FEM-Solver	m Quick-Solver r starten		×
		FEM-Sc	Schr Sc	itt 2: Postprocessin chritt 3: Nachverfei en Cancel	ng starten inerung Ergebnisgrößen eir	nstellen	

Wählen Sie im Quick-Solver "convert C3D4->C3D10 …" um die FEM-Analyse mit den sehr genauen quadratischen TET10-Tetraederelementen durchzuführen.

🖳 INP-Interface for FE-S	olvers	- 0	×
High Precision	 show and solve with C3D4 (4-node linear tetrahedral elements) show C3D4 and solve intern with a refining mesh of 8 x C3D4 convert C3D4 -> C3D10 and show and solve with C3D10 	Å	
Path for INP-Solver:	$\label{eq:c:Program Files} \end{tabular} EANS_V11\below \end{tabular} experimentar \end{tabular} exp$	Brows	ser
Path for INP Files:	C:\projekte\300x300_IPE-Profil\statik\tet4.INP		
	Settings Help + Infos Cancel		

FEM-Projekt: C:∖projekte∖300x300_IPE-Profil∖statik∖tet4 Bitte warten: FEM-Analyse von 122329 Elementen und 220089 Knotenpunkten	
Postprocessing MEANS V11 wieder starten	
Rechenzeit: 0:0:0:8:838	Abbruch
plastic data points per material:0orientations:0amplitudes:2data points in all amplitudes:2print requests:2transformations:0property cards:0	
STEP 1 Static analysis was selected Decascading the MPC's Determining the structure of the matrix:	
	~

Nach einer Rechenzeit von wenigen Minuten oder auch länger beim "Out-of-Core-Solver" ist ein kurzes Ton-Signal zu hören, jetzt ist das Menü "Postprocessing MEANS V11 wieder starten" wieder freigeschaltet und man kann den Postprocessor für die Ergebnisauswertung starten.

Ergebnisauswertung

Es wird automatisch der Postprocessor für die Ergebnisauswertung gestartet, wählen Sie die Registerkarte "Ergebnisauswertung".

Oatei Ansichten Netzgenerierung FEM-Projekt bearbeiten FEM-Analyse Ergebnisauswertung Trainin Image: State of the s			FEM-System MEANS
Verformungsfaktor Ergebnisse in Tabellenform Intern FEM-Strukturdated Knotenwerte picken Legende 1 Fytern STA-Frgebnisdated	rierung FEM-Projekt bearb	bearbeiten FEM-Analyse Ergebn	isauswertung Training
	formungsfaktor Ergebnis otenwerte picken Legende	gebnisse in Tabellenform Intern gende: Legende 1 - Extern	FEM-Strukturdatei STA-Ergebnisdatei
Ergebnisauswertung 🕞 Skalieren/Anzeigen 🖓 Legende/Tabelle 🖓 Animationen 🖓 Dateien listen	alieren/Anzeigen 🕞 👘 Leo	Legende/Tabelle 🕞 Animatione	en 🕞 👘 Dateien listen 🖓

Es stehen für die Statik-Analyse folgende Ergebnisgrößen zur Verfügung:

- Verformungen
- Knotenspannungen gemittelt
- Elementspannungen ungemittelt (besonders wichtig beim einfachen TET4)
- Auflagerreaktionen
- Knotenkräfte (nur mit Quick-Solver)

📻 FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C:\projekte\oebke\neu\netz10.fem

010-	1 5					
Datei Ansicht Netzg	jenerierung FEM-Proje	ekt bearbeiten 🛛 🛛	FEM-Analyse	Ergebnisauswert	ung Training	
Ergebnisse darstellen	Verformungsfaktor Knotenwerte picken Skalieren/Anzeigen 🗔	Legende 1 Diagramm 1 Legenden/Diagr	▼ ▼ Valu	ue-Animation 👻	FEM-Strukturdatei STA-Ergebnisdatei Dateien listen	Ermü
Ergebnisauswertung	Skalieren/Anzeigen Skalieren/Anzeigen Postprocessing Ergebnisse einladen Verfomungen auswerte Knotenspannungen un Elementspannungen un Legende Raster-Genauigkeit: 1 3 4 Ergebnis-Komponente wähle Verfomung in Z-R	n Lastf nittelt O A gemittelt O K Verfo Lege Knotenn n	all: 1 ~ uflagerkräfte ausw inotenkräfte ausw mungsfaktor/Wer ende und Farben e werte picken, such	Animation S	Dateien listen T ₂	
	Cancel	Modell mit E	rgebnisauswertun	9		

Verformungen in Z-Richtung mit einem Verformungsfaktor 500

Max. Verformung in Z-Richtung = 0.33 mm



Knotenspannungen

Max. Knotenspannungen = 157 N/mm²



Modell-Schnitt

Erzeugen Sie einen Modellschnitt indem Sie eine neue Elementgruppe mit einem definierten Bereich erzeugen und diese vor der Spannungsauswertung ausblenden.



Knotenspannungen

<complex-block><complex-block>

Max. Knotenspannungen Innenbereich = 142 N/mm²