

Aufgabe 2: Verifikation & Validierung

Ziel der Übung

- Untersuchung des Einflusses der räumlichen Diskretisierung (Netzfeinheit, Elementtyp) auf das Ergebnis der Simulation
- Vergleich der theoretischen (numerischen und analytischen) Ergebnisse mit experimentell ermittelten Daten

Aufgabenstellung

Wir möchten untersuchen, wie sich die Wahl der Vernetzung (Auflösung) und des Elementtyps (linear, quadratisch) auf die Qualität der numerischen Lösung auswirkt. Für den Kragbalken aus Aufgabe 01 kennen wir bereits die exakte analytische Lösung¹ (max. Auslenkung), die wir im Folgenden zur Ermittlung des Diskretisierungsfehlers heranziehen wollen.

1. Führe eine sogenannte *Konvergenzanalyse* für das 3D-, 2D- oder das 1D-Modell des Kragbalkens aus Aufgabe 01 durch: Verfeinere das FE-Netz schrittweise bis sich das Ergebnis um weniger als 0.1 % ändert (bezogen auf das jeweils eine Stufe gröbere Netz). Erstelle sog. Konvergenzdiagramme, indem Du die ermittelte maximale Auslenkung bzw. den relative Änderung gegenüber der „Anzahl der Freiheitsgrade“ (DOFs) des Modells aufträgst.
2. Wieviele DOFs sind notwendig, um einen Fehler von $< 0.1\%$ zu erhalten?
3. Wähle nun Elemente mit linearer anstelle von quadratischer Ansatzfunktion. Was beobachtest Du bezüglich des Konvergenzverhaltens?
4. Worin besteht der Nachteil des 1D-Modells (Balkenelemente) gegenüber den sog. Kontinuumselementen der 2D- und 3D-Varianten?
5. Inwiefern unterscheidet sich die mit dem 1D-Balkenmodell berechnete maximale Auslenkung von unserem analytischen Ergebnis? (Tip: ANSYS Manual → Element Library)
6. Validiere Dein(e) Modell(e) anhand eines Experiments! Diskutiere mögliche Fehlerquellen (analytisch, numerisch, experimentell)!

Hinweise und Tips

- Verwende für die 2D- und 3D-Modelle zunächst Hexaeder- bzw. Viereckselemente mit quadratischer Ansatzfunktion (Standardeinstellung).
- **Kontrolle der Netzfeinheit:** Die Netzfeinheit in ANSYS Workbench („Mechanical“-Modul) kannst Du auf zwei Arten festlegen:
 - o **Edge sizing:** Hierbei legt man für jede Kante fest, in wie viele Elemente („Number of Divisions“) sie unterteilt werden soll (Abbildung 1). Dies erlaubt

¹ „Exakt“ im Sinne der zugrundeliegenden, ebenfalls vereinfachenden, Euler-Bernoulli-Balkentheorie

eine sehr genaue manuelle Kontrolle der Auflösung des Netzes in allen drei Dimensionen; andererseits muß man nun im Falle des 2D und 3D-Modells manuell sicherstellen, daß die *Aspect Ratios* der Elemente nicht „ungünstig“ sind.

- **Body sizing:** Bei dieser Variante gibt man lediglich eine mittlere Elementgröße vor (vgl. Aufgabe 01, S. 8). Der ANSYS-Mesher versucht dann ein Netz zu erzeugen, dessen Elemente einerseits in etwa der Größenvorgabe entsprechen, andererseits aber auch gewisse Qualitätsmetriken genügen.
- Als Kompromiss bietet sich an, das *Edge Sizing* nur entlang der Länge des Balkens (x-Richtung) zu definieren und die anderen beiden Dimensionen freizulassen.
- **Anzahl der Knoten und Elemente bestimmen:** Nach erfolgreicher Vernetzung zeigt ANSYS Informationen zum Netz unter im „Details“-Fenster des „Mesh“-Knotens an (Abbildung 2).
- **Ändern der Ansatzfunktion:** Um auf lineare Elemente umzuschalten, wähle die Option *Mesh* → *Details* → *Element Midside Nodes* → *Dropped* (Abbildung 3).
- **Automatisierung/Parametrisierung (optional):** Anstatt die Vernetzungsparameter manuell zu ändern, kann man die entsprechenden Einstellungen (Number of Divisions, Element Size) auch parametrisieren (Abbildung 6). So kann man einen Satz an Design Points (= Parameter-Kombinationen) erstellen, die ANSYS dann in einem Rutsch auswertet.

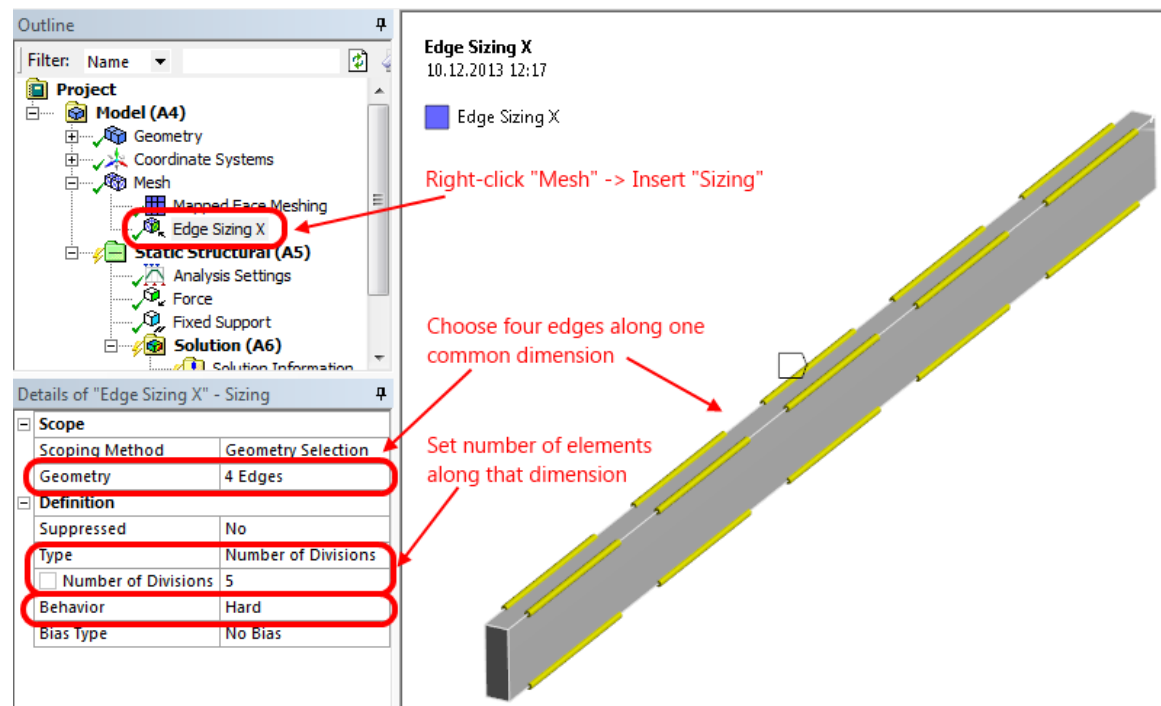


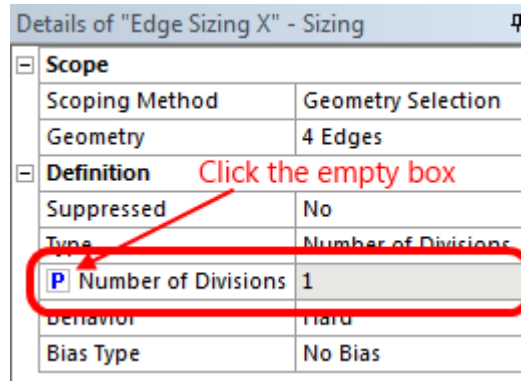
Abbildung 1: Festlegung der Netzfeinheit mittels „Edge Sizing“

Details of "Mesh"	
+	Defaults
+	Sizing
+	Inflation
+	Patch Conforming Options
+	Advanced
+	Defeaturing
-	Statistics
<input type="checkbox"/>	Nodes 549
<input type="checkbox"/>	Elements 80
	Mesh Metric None

Abbildung 2: Anzahl der Knoten und Elemente im erzeugten Netz

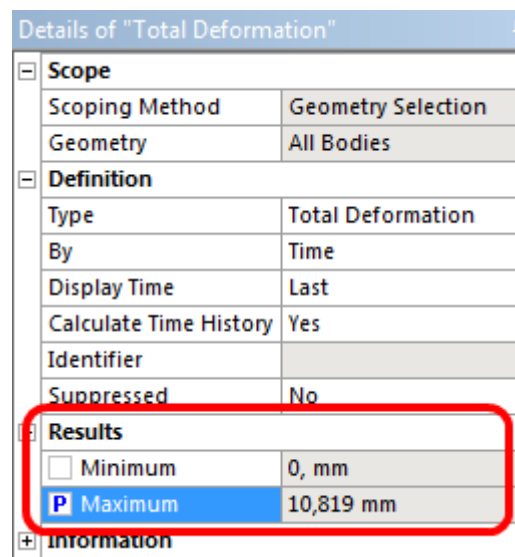
Details of "Mesh"	
+	Defaults
+	Sizing
+	Inflation
+	Patch Conforming Options
-	Advanced
	Shape Checking Standard Mecha
	Element Midside Nodes Program Cont... ▼
	Straight Sided Elements Program Controlle
	Number of Retries Dropped
	Extra Retries For Assembly Kept
	Rigid Body Behavior Dimensionally Re...
	Mesh Morphing Disabled
+	Defeaturing
+	Statistics

Abbildung 3: Wahl der Ansatzfunktion ("Kept": quadratisch; "Dropped": linear)



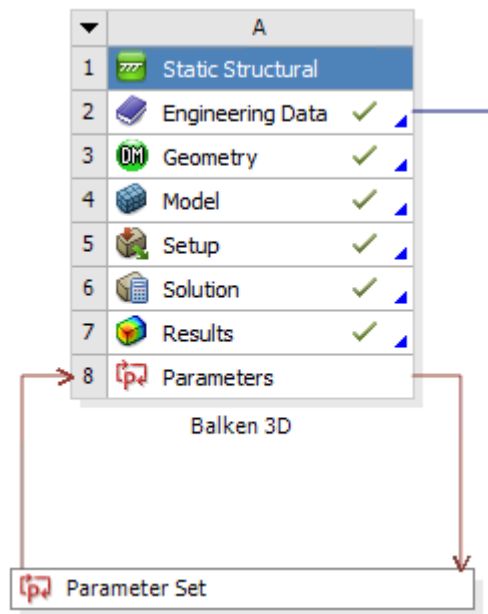
Details of "Edge Sizing X" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Edges
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input checked="" type="checkbox"/> Number of Divisions	1
Behavior	Hard
Bias Type	No Bias

Abbildung 4: Definition eines Input-Parameters



Details of "Total Deformation"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Total Deformation
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
<input type="checkbox"/> Minimum	0, mm
<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	10,819 mm
Information	

Abbildung 5: Definition eines Output-Parameters (= Ergebnis)



port... Reconnect Refresh Project Update Project Resume **Update All Design Points** Turn to Project Compact Mode **Click to retrieve the results for all designs**

Outline: No data

	A	B	C	D
1	ID	Parameter Name	Value	Unit
2	Input Parameters			
3	Balken 3D (A1)			
4	P1	Edge Sizing X Number of Divisions	1	
*	New input parameter	New name	New expression	
6	Output Parameters			
7	Balken 3D (A1)			
8	P2	Total Deformation Maximum	10,819	mm
9	P3	Mesh Nodes	51	
*	New output parameter		New expression	
11	Charts			

	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Edge Sizing X Number of Divisions	P2 - Total Deformation Maximum	P3 - Mesh Nodes	Export	N...
2	Units		mm			
3	Current	1	10,819	51		
4	DP 1	2	⚡	⚡		
5	DP 2	4	⚡	⚡		
6	DP 3	8	⚡	⚡		
7	DP 4	16	⚡	⚡		
8	DP 5	32	⚡	⚡		
9	DP 6	64	⚡	⚡		
*						

Specified designs

Abbildung 6: Doppelklicken auf "Parameter Set" in der Projekt-Übersicht (oben) öffnet die Design-Point-Ansicht (unten). Dort kann man in der Tabelle rechts neue Designs (= Parameter-Kombinationen) anlegen, indem man einfach den gewünschten Wert für den jeweiligen Parameter in die entsprechende Spalte einträgt. Ein Klick auf „Update All Design Points“ führt dann alle notwendigen Simulationen durch.