

Modellierung mit FEM

Kapitel 7: Kopplung von Bauteilen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Grätsch
Department Maschinenbau und Produktion
Fakultät Technik und Informatik
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

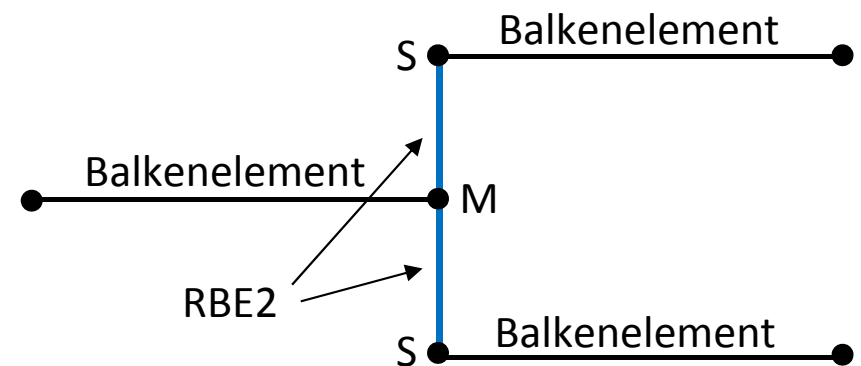
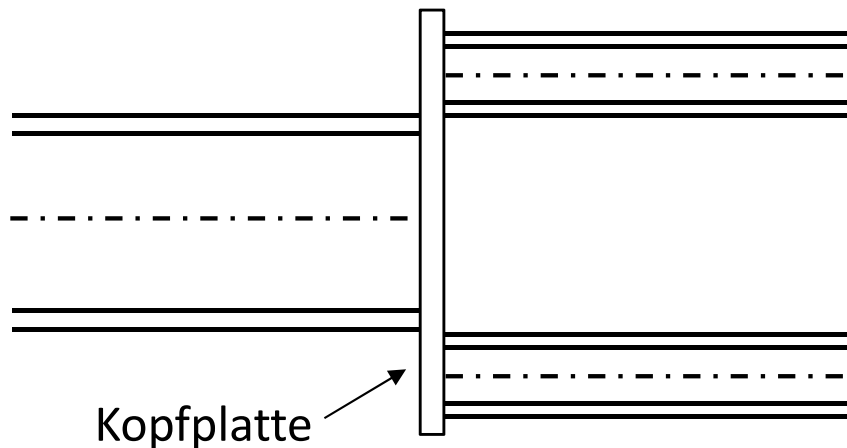
thomas.graetsch@haw-hamburg.de

RBE-Elemente

- Häufig verwendet zur Kopplung von Knoten und Elementen:
RBE = Rigid Body Element
- Spezielle Typen:
 - RBE2-Elemente (starre Hebel, meist zum Verbinden von Bauteilen)
 - RBE3-Elemente („weiche“ Hebel, meist zur Lastverteilung)
- Bezeichnung kommt aus FE-Programm Nastran, wird aber universell verwendet

RBE-Elemente

Beispiel: Modellierung eines Stoßpunkts bei Doppel-T-Trägern



M = Master-Knoten
S = Slave-Knoten

⇒ Starre Hebel (RBE2) zur Modellierung der steifen Kopfplatte

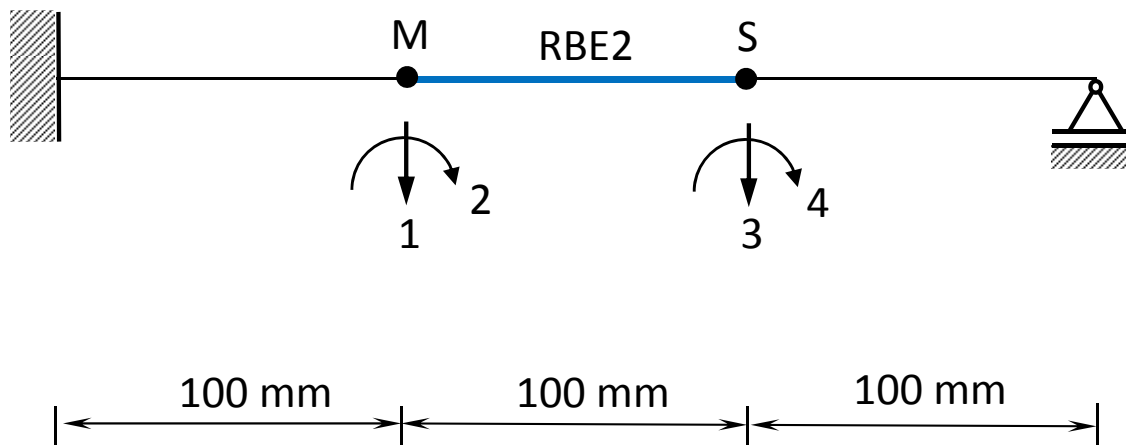
RBE-Elemente

Programminterner Ablauf bei der Berechnung:

- Nur den Masterknoten werden Freiheitsgrade zugeordnet, die als Unbekannte im Vektor **U** der Gleichung **KU=F** gelöst werden
- Die Freiheitsgrade der Slave-Knoten werden aus den Freiheitsgraden der Master-Knoten berechnet
- „Formel“:
 - Verschiebung $S = \text{Verschiebung } M + \text{Länge} \times \text{Verdrehung } M$
 - Verdrehung $S = \text{Verdrehung } M$

RBE-Elemente

Übungsbeispiel:



Gegeben:

$$U_1 = 4 \text{ mm}; U_2 = 0,05$$

- Berechnen Sie die Verformung U_3 und U_4
- Skizzieren Sie die Biegelinie

RBE-Elemente

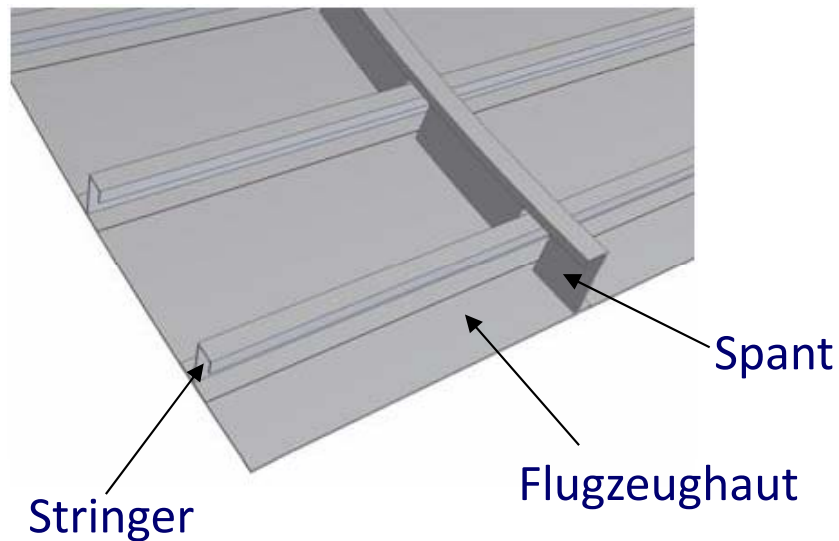
Anmerkungen zu RBE2-Elementen:

- Ein RBE-Element kann auch bezüglich einzeln ausgewählter Freiheitsgrade definiert werden
- Die Reihenfolge (ob M oder S) spielt innerhalb eines RBE2 keine Rolle
- Bei RBE2-Gruppen: Ein Master-Knoten darf mehrere Slave-Knoten haben, aber nicht umgekehrt
- Ein Masterknoten darf selbst Slave-Knoten eines anderen Masterknoten sein, es darf aber kein in sich geschlossener Kreislauf entstehen (oftmals bei Schraubverbindungen mit Kontakt der Fall)
- Diagramme hierzu siehe Tafel

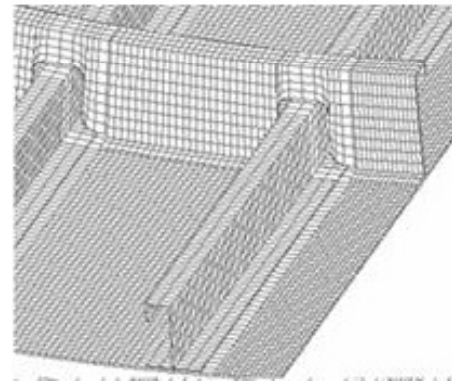
RBE-Elemente

RBE2-Elemente werden auch zur Modellierung eines „Offsets“ verwendet:

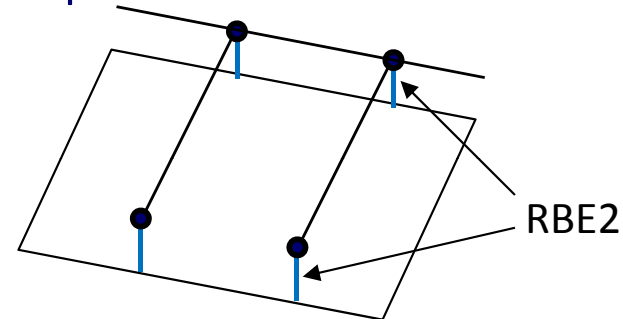
Ausschnitt Flugzeugstruktur:



Option 1: Nur Schalenelemente

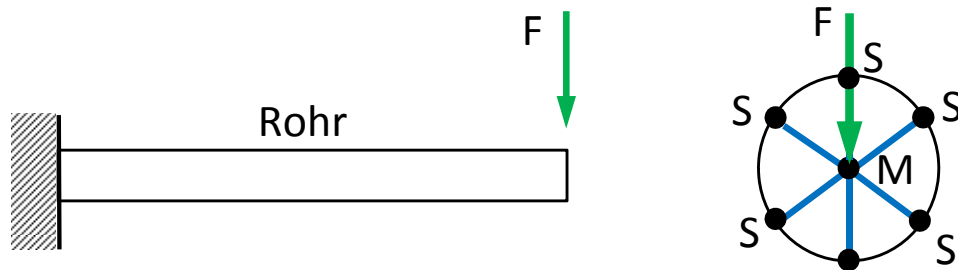


Option 2: Schalen- Balkenelemente und RBE2

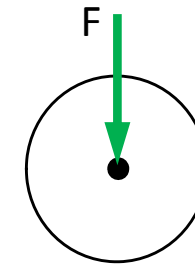


RBE-Elemente

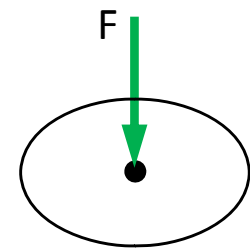
Lastverteilung mit RBE-Elemente:



Verformung am Rohrende:



Mit RBE2



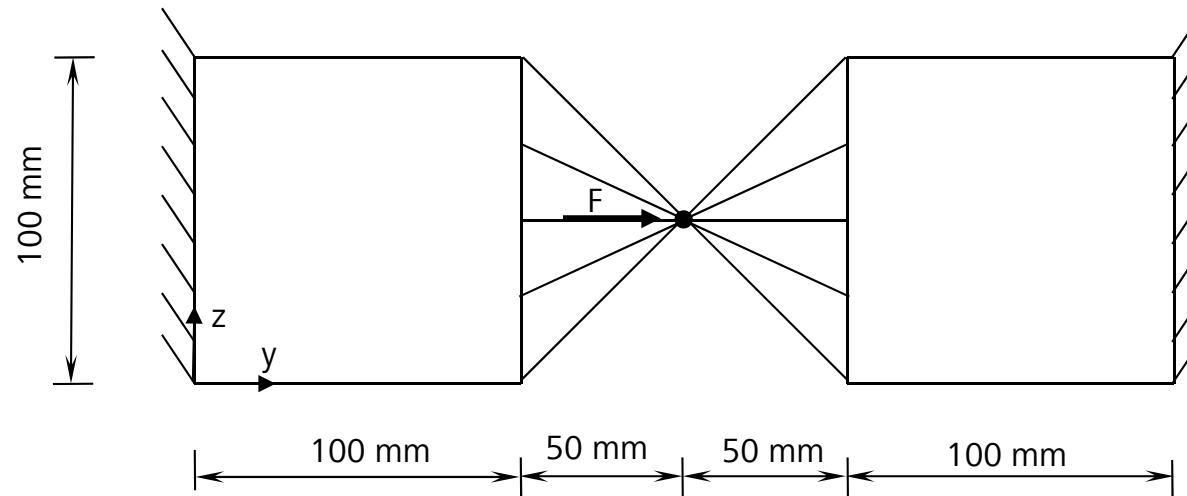
Mit RBE3

Anmerkungen:

- Rohrende kann bei RBE2 nicht mehr ovalisieren
- Lastverteilung daher stets mit RBE3 vornehmen
- RBE2 versteifen stets die Struktur, oftmals ungewollt

RBE-Elemente

Übungsbeispiel:



- Skizzieren Sie die Verformung jeweils bei Verwendung von RBE2- und RBE3-Elementen

Constraints

Weitere Constraints in FE-Programmen:

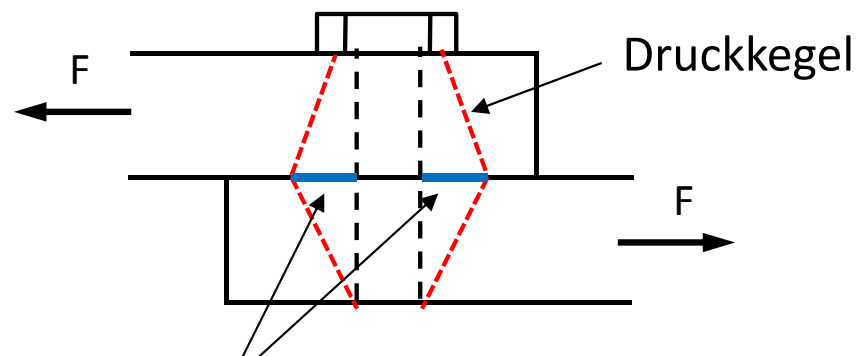
- Direkte Abhängigkeit zwischen Knoten (z.B. gleiche Verschiebung)
- Starre Hebel (entspricht RBE2)
- Vorgeschriebene Verschiebungen an Knoten
- ... und viele weitere

Klebeverbindung

- Zur kraft- und formschlüssigen Verbindung zweier Bauteile wird eine spezielle „Klebeverbindung“ verwendet
- Mathematischer Hintergrund: Interpolationsbedingungen zwischen Master- und Slavekante bzw. –fläche (möglichst die gröber vernetzte Seite als Masterseite wählen)
- Jedes FE-Programm hat eine eigene Bezeichnung hierfür:
 - ADINA: „Glue“
 - Ansys: „Bonded“ bzw. „Glue“
 - Abaqus: „Tie“
 - Permas: „Join“

Klebeverbindung

Beispiel: Modellierung einer Schraubenverbindung



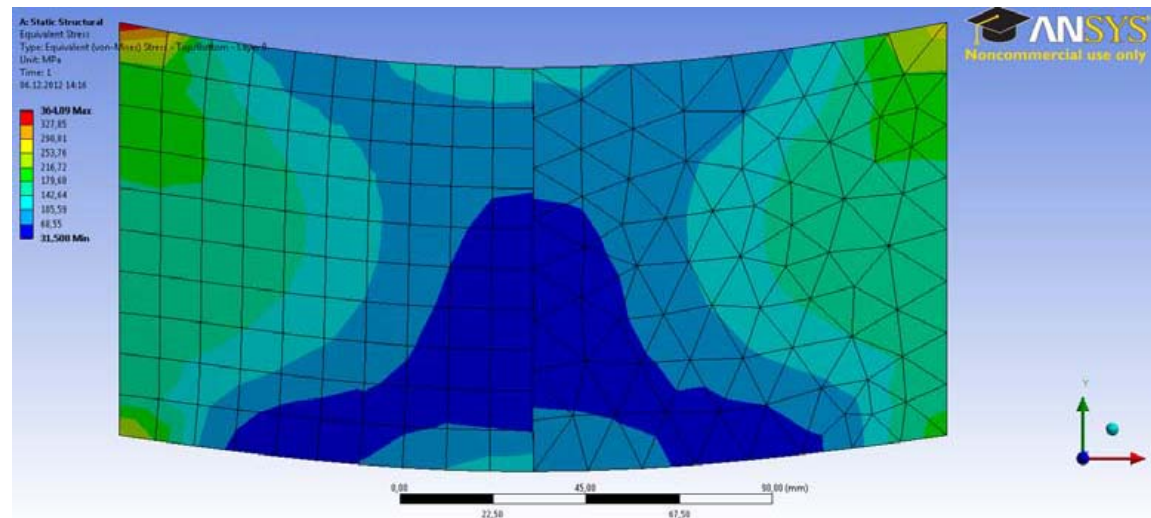
„Kleben“ der Bauteile innerhalb des Druckkegels

⇒ Verklebung deutlich weniger rechenintensiv als z.B. Kontaktformulierung

Klebeverbindung

Anmerkungen:

- Nach Möglichkeit knotenkoinzident in Klebefuge vernetzen
- Guter Algorithmus gibt gleichmäßige Spannungsverläufe auch bei groben und nicht-knotenkoinzidenten Netzen



Klebeverbindung

Weitere Anmerkungen:

- Nach Berechnung prüfen, ob Tangentialkräfte F_t in der Klebefuge der Bedingung $F_t \leq \mu \cdot F_n$ genügen
mit F_n = Normalkraft, μ = angenommener Reibbeiwert
- Wird in einigen FE-Programmen automatisch gemacht, z.B. Abaqus
- Falls Bedingung nicht eingehalten, ggf. mit Reibkontakt rechnen (numerisch sehr aufwendig)
- Ebenfalls prüfen, ob nicht ungewollt Zugkräfte übertragen werden
- Praktisches Beispiel hierzu in der Vorlesung