

Implementierung eines geometrisch nichtlinearen Volumenschalenelements mit orthotropem Schichtaufbau und Unidirektorkinematik

Diplomarbeit cand. ing. Marina Mrkonjić

Motivation

Lamine aus faserverstärkten Werkstoffen

- zunehmender Einsatz wegen ihrer hohen Festigkeit und großen Steifigkeit bei geringem Eigengewicht
- meist in schalenartiger Form und zeigen sehr starke Richtungsabhängigkeit in ihrem Materialverhalten

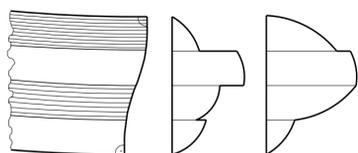


Volumenschalenelement "Solid-Shell"- Konzept

- Volumenelement angepasst an typische Schalenprobleme; klare Unterscheidung zwischen Schalenfläche und ihrer Dicke
- 3-D Spannungszustände vollständig beschreibbar, allgemeine 3-D Materialgesetze implementierbar, Zuweisung von unterschiedlichen Schichteigenschaften möglich
- Oberflächenorientiert und verschiebungsbasiert
- Bei Elementen niedriger Ansatzordnung starke Versteifungseffekte, aber Einsatz verschiedener Modifikationen und Ansatzordnungen in Schalenrichtung und senkrecht dazu möglich

Besonderheiten bei geschichteten Strukturen

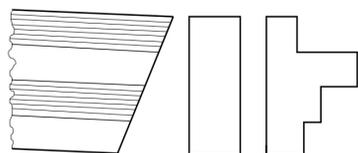
Realität



$E_{\alpha 3}$ $S_{\alpha 3}$

Querschnittsverformung, Querschubverzerrungen und -spannungen

Unidirektorkinematik

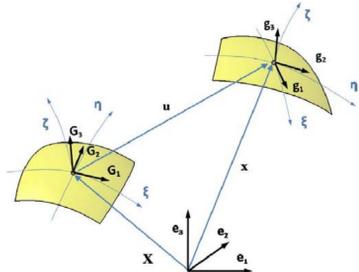


$E_{\alpha 3}$ $S_{\alpha 3}$

- Unidirektorthorie - sehr grobe Vereinfachung der Kinematik

Deformationsgrößen in konvektiven Koordinaten

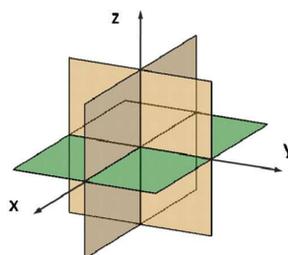
- Green-Lagrangescher Verzerrungstensor in einer kontravarianten Basis
- 2. Piola-Kirchhoff Spannungstensor in einer kovarianten Basis



Das orthotrope St. Venant-Kirchhoff-Material

- 3 orthogonale Symmetrieebenen
- 9 unabhängige Materialkennwerte

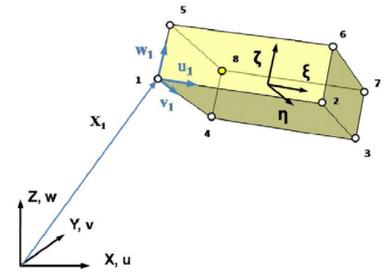
- 3 Elastizitätsmoduli bezüglich der Hauptmaterialrichtungen E_i
- 3 Querkontraktionszahlen $\nu_{ij} = \nu_{ji} \frac{E_i}{E_j}$, $i \neq j$
- 3 Schubmoduli bezüglich der Hauptmaterialebene $\mu_{ij} = \mu_{ji}$, $i \neq j$, $i, j = 1, 3$



- Transformation der orthotropen Materialeigenschaften in eine konvektive Basis

Diskretisierung mit Finiten Elementen Das trilineare 8 - Knotenelement

- Elementknoten mit dem Ortsvektor in globalen x, y, z -Koordinaten
- 3 Verschiebungsfreiheitsgrade jedem Knoten zugeordnet
- Trilinear Ansatz in lokalen ξ, η, ζ -Koordinaten

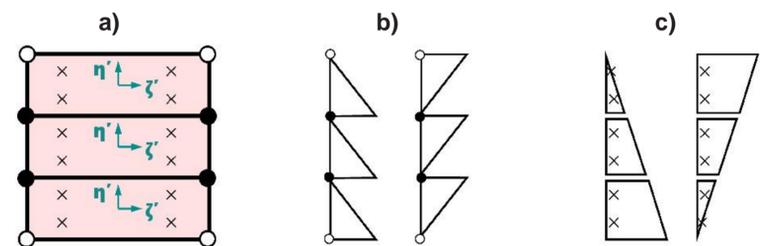


$$N_I(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1 + \xi_I \xi)(1 + \eta_I \eta)(1 + \zeta_I \zeta), \quad I = 1, \dots, 8$$

- Der orthotrope Schichtaufbau auf Elementebene

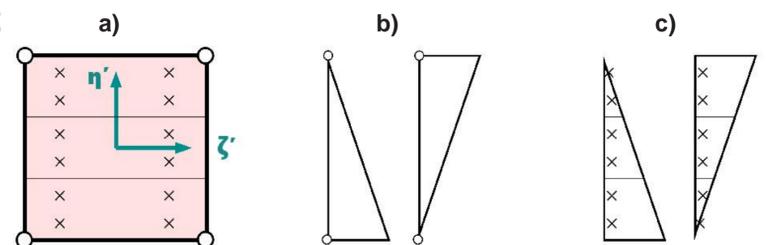
Definition der Integration in Dickenrichtung

Variante 1



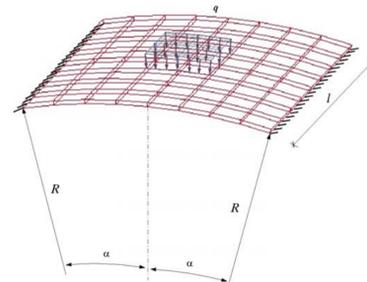
a) Verteilung der Knotenpunkte und Gaußpunkte auf Elementebene, Ansatzfunktionen und Stützstellen b) für die Geometrie, c) für die Verschiebungen

Variante 2



- Integration nach Variante 2 im Element eingesetzt

Zylindersegment unter Flächenlast mit drei orthotropen Schichten



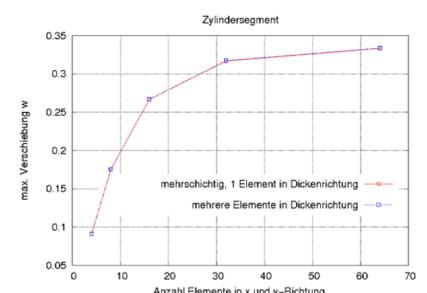
- Belastung $F = qA = 100N$

- Geometrie $R = 300cm$
 $l = 100cm$
 $t = 3cm$
 $\alpha = 15^\circ$

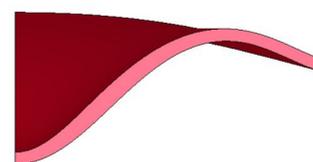
- orthotrope Materialeigenschaften

Vergleich

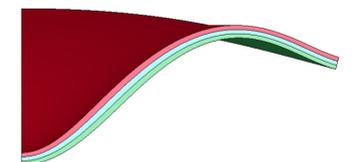
- Modell a) mehrschichtiges Volumenschalenelement, ein Element in Schalendickenrichtung
- Modell b) Standard-Volumenschalenelement ohne Schichtaufbau, drei Elemente in Schalendickenrichtung
- identische Ergebnisse, unterschiedliche Rechenzeiten



Modell a)



Modell b)



Mehrschichtiges Volumenschalenelement

- einfache Handhabung und Modellierung
- kurze Rechenzeiten
- Darstellbare Verzerrungs- und Spannungszustände konstant, keine korrekte Abbildung in Schalendickenrichtung möglich