Universität Karlsruhe (TH)

Implementierung eines 3D-Rebar-Elementes mit nichtlinearem Materialgesetz für Matrix und Faser

Diplomarbeit von Benjamin Kensche

BAUSTATIK

Materialformulierungen

Um numerische Berechnungen für Faserverbundwerkstoffe im Allgemeinen bzw. Stahlbeton im speziellen bis zum Versagen von Bauteilen durchführen zu können, ist es erforderlich für die Materialien numerische Modelle einzuführen, welche physikalisch nichtlineares Materialverhalten berücksichtigen. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde Stahl mit einer von Mieses-Formulierung und Beton mit Kopplung über eine modifizierte Fließregel nach Koiter mit drei Drucker-Prager-Fließflächen und einer kugelförmigen Fließfläche (Abb. 1) implementiert.

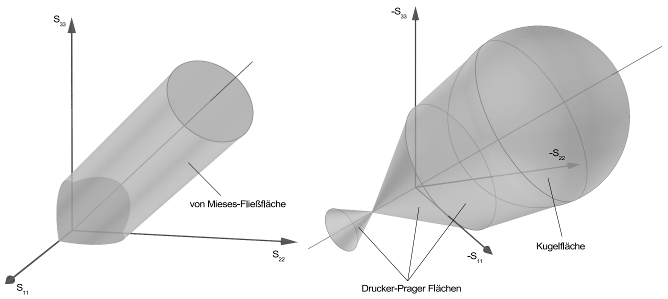

Abb. 1: von Mieses- und Drucker-Prager- Fließflächen

Die Fließbedingung nach von Mieses hat als Funktion von den 2. Pioal-Kirchhoff-Spannungen $\mathbf{S}$ und den plastischen Vergleichsspannungen κ die Gestalt

$$\Phi(\mathbf{S},\kappa) = \frac{1}{2}\left(\mathbf{S} : \mathbb{P} : \mathbf{S}\right) - \frac{1}{3}y^2(\kappa) = 0.$$

Die Verfestigungsfunktion $y(\kappa)$ läßt ideal-plastisches, linear-verfestigendes und exponentiell- verfestigendes Materialverhalten zu. Durch hinzufügen eines hydrostatischen Spannungsterms folgt aus der von Mieses-Bedingung die Drucker-Prager-Fließfläche

$$\Phi(\mathbf{S},\kappa) = |\mathbf{S}^D| + \alpha I_1(\mathbf{S}) - \sqrt{\frac{2}{3}}y(\kappa) = 0\,,$$

mit der sich nichtlineares ver- bzw. entfestigendes Materialverhalten simulieren lässt.
Die Fließbedingung für die Kugelförmige Fließfläche wird durch die Mittelpunktkoordinaten L und den Radius der Kugel R charakterisiert:

$$\Phi(\mathbf{S},\kappa) = \sqrt{|\mathbf{S}^D|^2 + \frac{1}{9}(I_1 - L(\kappa))^2} - R(\kappa) = 0$$

Das Rebar-Konzept

Das Rebar-Konzept basiert auf der Aufteilung des inneren und des äußeren Potentials in Anteile von Matrixmaterial und Fasermaterial.

$$\Pi = \Pi_i + \Pi_a = \Pi_{i,M} + \Pi_{i,F} + \Pi_{a,M} + \Pi_{a,F}$$

Bei der getrennten Berücksichtigung der Steifigkeitsanteile von Matrixvolumen und Faservolumen wird zunächst über das Gesamtvolumen mit Stoffeigenschaften des Matrixmaterials integriert (Abb. 2(a)). Dannach wird die Steifigkeitsmatrix des Faservolumen mit Matrixmaterialeigenschaften subtrahiert (Abb. 2(b)) und schließlich die Steifigkeitsmatrix des Faservolumens mit Fasermaterialeigenschaften hinzuaddiert (Abb. 2(c)).

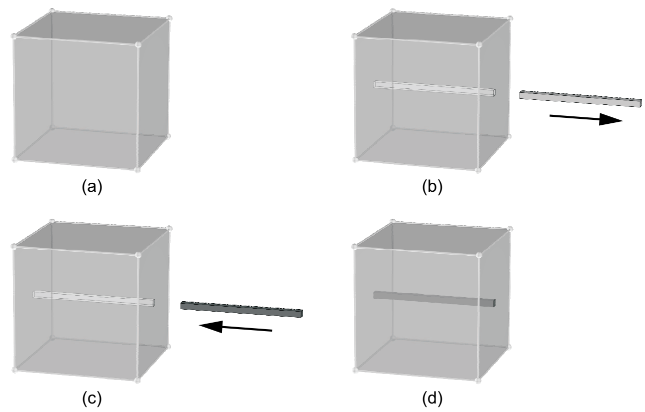

Abb. 2: Einbau der Faser

Berechnungsbeispiel: Konsole

Als Berechnungsbeispiel wurde eine Stahlbetonkonsole mit dem im Rahmen der Diplomarbeit programmierten Element diskretisiert und berechnet. In Abb. 3 ist auf der rechten Seite ein Plot der plastischen Vergleichsdehnungen abgebildet, wobei diese als Maß für das Versagen des Betons anzusehen sind.

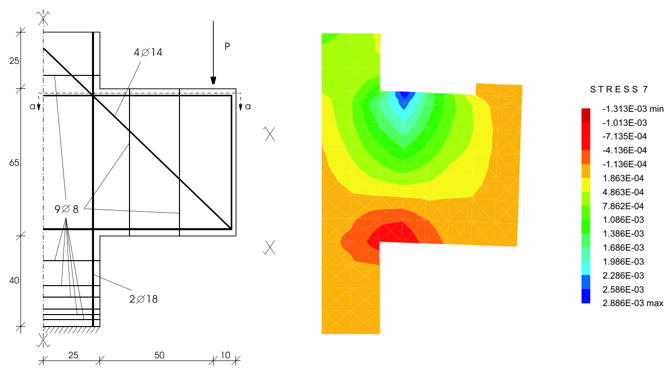

Abb. 3: Skizze und plastische Vergleichsdehnungen der Konsole