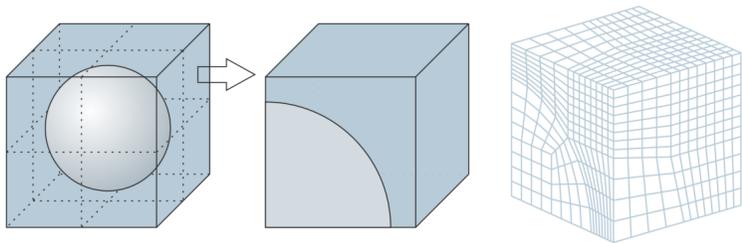


Numerische Untersuchungen des elasto-plastischen Verhaltens verstärkter Epoxidstrukturen

Steffen Rothweiler

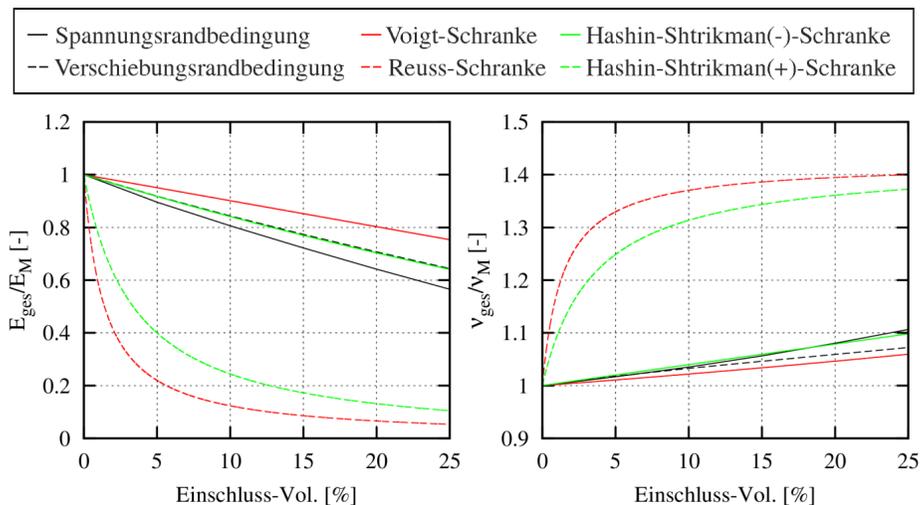
1. Einleitung und Motivation

Epoxidharze werden hauptsächlich für industrielle Zwecke eingesetzt, vor allem in der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt, der Bauindustrie, der Elektrotechnik und der Schifffahrt. Trotz der zahlreichen Anwendungsbereiche weisen Epoxidharze ein starres und sprödes Materialverhalten auf und besitzen eine geringe Zähigkeit. Unter Zuhilfenahme einer zweiten Phase, durch Zugabe von Elastomeren, kann die Zähigkeit und Bruchfestigkeit verbessert werden. Für die Erhöhung der Zähigkeit sind unterschiedliche Mechanismen sowohl in der Epoxidmatrix, als auch in dem Elastomereinschluss verantwortlich. Mittels des Finite-Elemente Modells einer würfelförmigen Einheitszelle mit kugelförmigem Einschluss werden die Auswirkungen des Einschlusses auf das lineare und nichtlineare Materialverhalten untersucht.



2. Elastische Eigenschaften

Im Laufe der elastischen Untersuchungen werden sowohl der makroskopische Elastizitätsmodul als auch die Querdehnzahl des Materials bei Verwendung unterschiedlicher Randbedingungen ermittelt. Dabei lässt sich beobachten, dass der makroskopische E-Modul mit Zunahme des Volumenanteils des Einschlusses abnimmt. Bei Verwendung der Verschiebungsrandbedingung ist die Abnahme geringer als bei Einsatz der Spannungsrandbedingung. Eine Veränderung der elastischen Eigenschaften des Einschlusses wirkt sich auf den makroskopischen E-Modul nur bei einer Änderung des E-Moduls aus.



Die Querdehnzahl nimmt hingegen mit der Zunahme des Volumenanteils des Einschlusses zu. Die Zunahme von ν_{ges} fällt bei Vorgabe von Verschiebungsrandbedingungen geringer aus als bei den Spannungsrandbedingungen. Eine Veränderung der elastischen Eigenschaften des Einschlusses wirkt sich auf die Querdehnzahl der Gesamtstruktur nur bei einer Änderung des Kompressionsmoduls aus.

Vergleicht man die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen mit analytischen Näherungsmethoden, so lassen sich diese als obere und untere Schranke interpretieren.

3. Nichtlineares Verhalten

Bei den nichtlinearen Betrachtungen wird zunächst die Veränderung der Fließspannungen infolge der Elastomerpartikel analysiert. Hierbei kommt für die Polymermatrix eine parabolische Fließbedingung mit assoziierter Formulierung zum Einsatz:

$$F(\sigma, k) = \sigma_{VM}^2 + cI_1 - k^2$$

In einer weiteren Untersuchung sollen, bei Formulierung einer nicht-assozierten Plastizität, unterschiedliche symmetrische Materialtangenten hinsichtlich der benötigten Anzahl an Iterationen miteinander verglichen werden. Die Fließbedingung wird weiterhin in parabolischer Form verwendet, als plastisches Potential wird jedoch eine lineare Funktion nach Drucker-Prager gewählt:

$$P(\sigma) = \sigma_{VM} + \bar{c}I_1$$

Aus dem Prädiktor-Korrektor-Verfahren des elasto-plastischen Algorithmus ergibt sich bei konsistenter Herleitung eine unsymmetrische Materialtangente:

$$C = \Theta - \frac{(\Theta \frac{\partial P}{\partial \sigma}) \otimes (\Theta \frac{\partial F}{\partial \sigma})}{\frac{\partial F}{\partial \sigma} \Theta \frac{\partial P}{\partial \sigma} + \frac{\partial F}{\partial k} \bar{H}^{-1} \frac{\partial F}{\partial k}}$$

Die unterschiedlichen Ansätze zur Symmetrisierung der Materialtangenten lauten:

- Tang1: konsistente Herleitung, an Hauptdiagonale symmetrisiert
- Tang2: Tangente nur über Fließbedingung $F \rightarrow C(F)$
- Tang3: Tangente nur über plastisches Potential $P \rightarrow C(P)$
- Tang4: Tangente als Mittelwert aus Tang 2 + 3 $\rightarrow \frac{1}{2}[C(F) + C(P)]$

