

Finite-Element-Simulation von Schäumen auf Basis mikromorpher Erweiterungen der Kontinuumsmechanik - Theorie und praktische Anwendungsbeispiele

Motivation

Metallschäume finden durch das vorteilhafte Verhältnis von Dichte und Steifigkeit, dem hohen Dissipationsvermögen und den guten Dämmungseigenschaften Verwendung im Fahrzeugbau sowie in der Luft- und Raumfahrt. Aber auch in anderen Bereichen, wie dem Bauwesen oder der Medizintechnik sind Metallschäume von Bedeutung.

Die Diplomarbeit befasst sich mit der kontinuumsmechanischen Erweiterung zur Beschreibung von kinematischen Schaumeffekten auf Mikroebene. Denkbar ist die Anwendung der hier entwickelten Theorien aber auch zur Simulation von körnigen Böden, quellenden Materialien oder im Bereich der Biomechanik.

Mikromorphe Kontinua

Mikromorphe Kontinua stellen eine systematische Erweiterung klassischer Modelle dar. Sie bestehen nicht allein aus einer Menge von Punkten sondern aus Mikrokontinua. Neben den drei Freiheitsgraden aus dem Verschiebungsfeld erhalten mikromorphe Kontinua neun weitere Freiheitsgrade (drei Rotations- und sechs Mikrodeformationsfreiheitsgrade). Um die Anzahl der Freiheitsgrade zu beschränken, wurden Subtheorien entwickelt, welche lediglich die für die jeweilige Anwendung signifikanten Freiheitsgrade berücksichtigen.

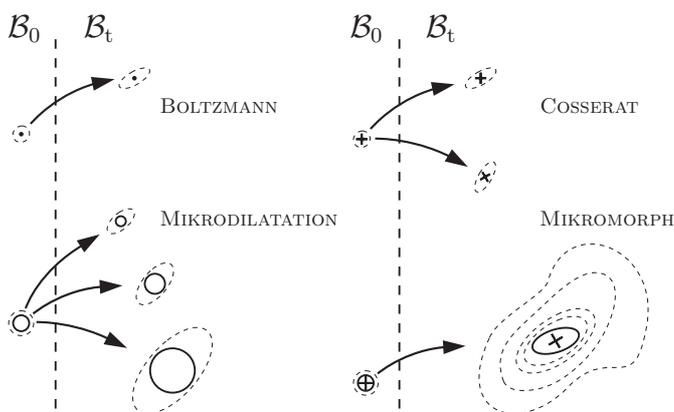


Abb. 2: Referenz- und Momentankonfiguration verschiedener Kontinua.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf den Bereich der Mikrodilatationskontinua. So wird neben dem Verschiebungsfeld ein Dilatationsfeld angesetzt. Dadurch erscheint das Volumen des Mikrokontinuums als explizite Modellvariable. Das Dilatationsfeld ist im weiteren durch das skalare Mikrofild $\bar{\alpha}_p$ dargestellt.

Konstitutive Beziehungen

Ein klassisch-lineares Modell (vorgeschlagen von KIRCHNER & STEINMANN) wird mit einem erweiterten Neo-Hooke-Modell verglichen. Die Verzerrungsenergie-dichte des Neo-Hooke-Modells lautet:

$$\begin{aligned} W &= W_{mp} + W_{foam} + W_{curv} \\ &= \mu \|\text{sym}[\bar{\mathbf{U}} - \mathbf{1}]\|^2 \\ &\quad + \frac{\lambda}{4} [(\det \bar{\mathbf{U}} - 1)^2 + (\frac{1}{\det \bar{\mathbf{U}}} - 1)^2] \\ &\quad + \frac{\lambda^m}{4} [(e^{\bar{\alpha}_p} - 1)^2 + (e^{-\bar{\alpha}_p} - 1)^2] \\ &\quad + \frac{C_1}{2} \|\text{Grad}[\bar{\alpha}_p]\|^2 \end{aligned}$$

Während bei KIRCHNER & STEINMANN $\bar{\alpha}_p$ über konstitutive Gleichungen der Theorie zugeführt wird, ist es hier der Verzerrungstensor $\text{sym}[\bar{\mathbf{U}} - \mathbf{1}] = \text{sym}[e^{-\frac{\bar{\alpha}_p}{3}} \mathbf{F} - \mathbf{1}]$.

Ergebnisse

Die numerischen Tests offenbaren die Tauglichkeit der erweiterten Kontinua zur Simulation von Schäumen. Im homogenen Zug- und Drucktest zeigt das Modell nach KIRCHNER & STEINMANN kein Unterschied zu der klassisch linearen Lösung. Die Variable $\bar{\alpha}_p$ ist wider Erwarten völlig ohne Bedeutung, wie auch analytische Untersuchungen ergeben.

Das erweiterte Neo-Hooke Modell zeigt hingegen weiches Verhalten im Vergleich zur klassischen Lösung. Die Parameterstudie in Abb. 2 variiert den Schaumparame-ter λ^m in einem homogenen Zug/Drucktest.

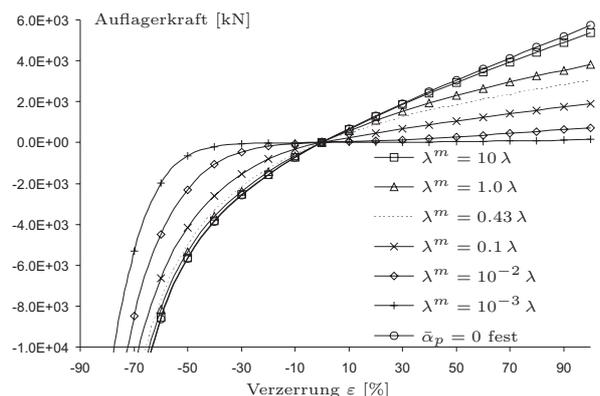


Abb. 2: Vertikale Auflagerkräfte des erweiterten Neo-Hooke Modells im homogenen Zug/Drucktest bei Variation des Schaumparameters λ^m .