Institut für Mechanik

Erweiterung und Implementierung eines dehnratenabhängigen Materialmodells für anisotrope thermoplastische Kunststoffe

Diplomarbeit cand. ing. Alexander Hillenberg

Motivation

- **Entwicklung eines elastisch-viskoplastischen Materialmodells für anisotrope thermoplastische Kunststoffe mit plastisch dilatantem Verhalten unter Zug**
- **Implementierung des Materialmodells als User-Routine in Finite-Elemente-Programm LS-DYNA**
- **Erhöhung der numerischen Stabilität durch Implementierung einer Raten-Tangentenformulierung**

Caddell'sche Fließbedingung

Fließbedingung von Caddell et al. (1973) gut geeignet zur Abbildung der Anisotropie und Druckabhängigkeit des Materials

$$\begin{aligned} H(\sigma_y-\sigma_z)^2 &+ F(\sigma_x-\sigma_y)^2+G(\sigma_z-\sigma_x)^2 \\ &+ 2N\tau_{xy}^2+2L\tau_{yz}^2+2M\tau_{zx}^2 \\ &+ K_x\sigma_x+K_y\sigma_y+K_z\sigma_z=1 \end{aligned}$$

Materialparameter: $F,\ G,\ H,\ L,\ M,\ N,\ K_x,\ K_y,\ K_z$

Materialmodell

- **Reduktion der Caddell'schen Fließbedingung auf Transversalisotropie**

  $$\phi(\sigma)=f(\sigma_y-\sigma_z)^2+0.5\left[(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_z-\sigma_x)^2\right]+ m\left[\tau_{xy}^2+\tau_{zx}^2\right]+(4f+1)\tau_{yz}^2+\ k_x\sigma_x+k\,(\sigma_y+\sigma_z)$$

  x **= Anisotropierichtung** $\quad y, z$ **= isotrope Ebene**

- **assoziierte Fließregel** $\Longrightarrow$ **plastische Dilatanz**

  $$\boldsymbol{D}^p=\frac{\dot\gamma}{\sigma_F}\frac{\partial\Phi}{\partial\boldsymbol{\sigma}} \quad \text{mit} \quad \Phi(\boldsymbol{\sigma})=\phi(\boldsymbol{\sigma})-\sigma_F^2$$

  $\Longrightarrow$ **5 Materialparameter** $f,\ m,\ k_x,\ k,\ \sigma_f$

- **visko-plastische Dehnrate** $\quad \dot\gamma=\dot\varepsilon_0\exp\left(\dfrac{\Phi}{AT\sigma_F}\right)$

- **Berücksichtigung Volumenerhaltung unter Druck**

  $sp\boldsymbol{\sigma}<0 \quad\Longrightarrow\quad k_{x,y,z}=0 \quad\Longrightarrow\quad sp\ \boldsymbol{D}^p=0$

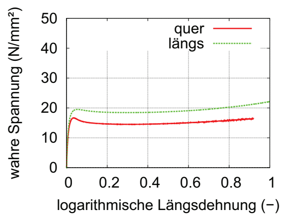
Raten-Tangentenformulierung

- **statt** $\quad \overset{\triangledown}{\boldsymbol{\sigma}}=\mathbb{C}\boldsymbol{D}-\mathbb{C}\ \boldsymbol{D}^p$
- **nun** $\quad \overset{\triangledown}{\boldsymbol{\sigma}}=\mathbb{C}^{tan}\boldsymbol{D}-\dfrac{1}{1+\xi}\mathbb{C}\ \boldsymbol{D}^p$
- **mit** $\quad \mathbb{C}^{tan}=\mathbb{C}-\left(\dfrac{\xi}{1+\xi}\right)\dfrac{1}{h}\left(\mathbb{C}:\dfrac{\partial\Psi}{\partial\boldsymbol{\sigma}}\right)\otimes\left(\dfrac{\partial\Phi}{\partial\boldsymbol{\sigma}}:\mathbb{C}\right)$

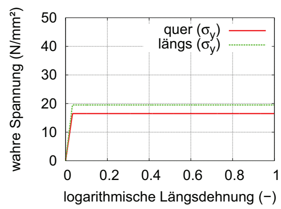
$$h=\frac{\partial\Phi}{\partial\boldsymbol{\sigma}}:\mathbb{C}:\frac{\partial\Psi}{\partial\boldsymbol{\sigma}} \qquad \xi=\frac{\theta\Delta t\,h\,\dot\gamma_t}{AT\sigma_F^2}$$

Numerische Ergebnisse: 1-Element-Test (Zug)

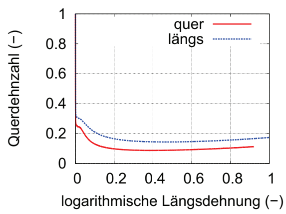
Experiment



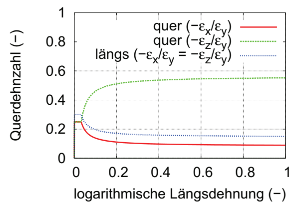
Modell



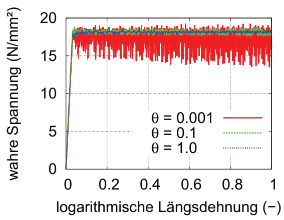
Experiment



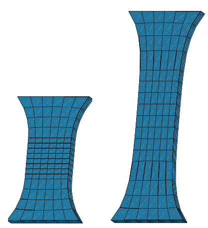
Modell



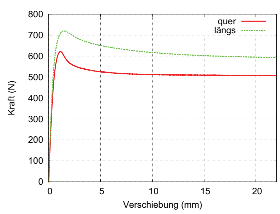
- **gute Übereinstimmung von Experiment und Modell in Bezug auf Spannungs- und Querdehnverhalten**
- **Stabilität der Raten-Tangentenformulierung:**



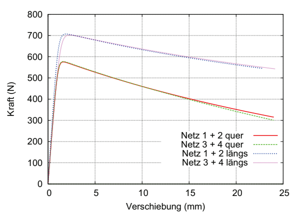
Numerische Ergebnisse: Zugversuch an vollständigem Probekörper



Experiment



Modell



- **Berücksichtigung von Verfestigung führt zu Verbesserung der Übereinstimmung im Globalverhalten**

  (hier mit Einfluss Dehnrate)