Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Baustatik
Leiter: Prof. Dr.-Ing.
S. Freitag

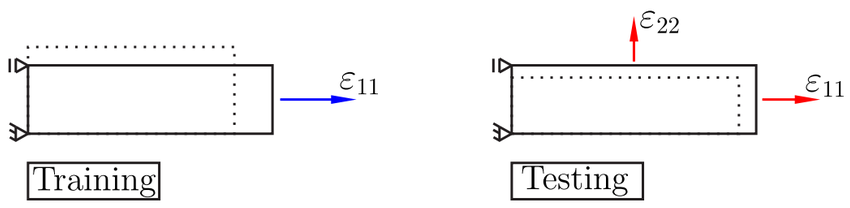
Zeitschrittweitenrobuste Modellierung mehrdimensionalen viskoelastischen Materialverhaltens mit künstlichen neuronalen Netzen

Stefan Nuber

1. Motivation und Ziele

Viele Materialien zeigen viskoelastisches Verhalten. Mit dem Einsatz künstlicher neuronaler Netze (KNN) soll eine Alternative zur phänomenologischen Materialmodellierung geschaffen werden. Perspektivisch soll mit KNN Materialverhalten ohne explizite Vorgabe des Materialgesetzes beschrieben werden. Allerdings ist hierfür ein erfolgreiches Training des Netzes mit geeigneten Daten notwendig.

Ziel der Arbeit ist das Training des KNN mit Uniaxialversuchen auf Basis eines mehrdimensionalen viskoelastischen Materialgesetzes. Im Testing soll das Netz Biaxialversuche zeitschrittweitenrobust abbilden, d.h. das Materialverhalten muss für beliebige Zeitschrittweiten beschrieben werden können.



2. Erzeugung synthetischer Materialdaten

Durch die Viskosität dissipiert ein Teil der zur Verformung aufgebrachten Arbeit. Dementsprechend setzt sich die Verzerrungsenergiefunktion eines viskoelastischen Materials aus einem elastischen und einem dissipativen Anteil zusammen. Aus der Ableitung nach der Verzerrung gehen aus der Energiefunktion die Spannungsanteile hervor.

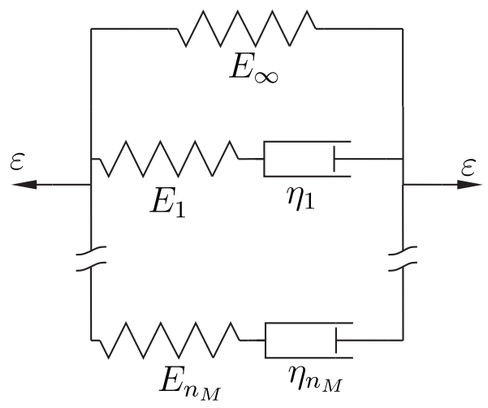


Abbildung 2: *n-Elemente-Modell*

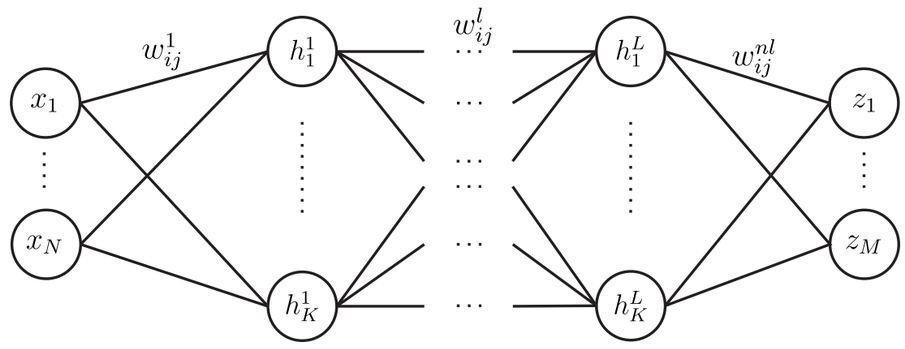
Zur Erzeugung synthetischer Materialdaten wird das n-Elemente-Modell mit einer Feder und n parallelen Maxwell-Elementen verwendet. Daraus kann das viskoelastische Stoffgesetz hergeleitet werden

$$\boldsymbol{\sigma}(t_n) = K\mathrm{tr}(\boldsymbol{\varepsilon}(t_n))\boldsymbol{I} + 2G_\infty \boldsymbol{e}(t_n) + \sum_{i=1}^{n_M} \boldsymbol{q}_i(t_{n-1}) e^{-\frac{\Delta t}{\tau_i}} + 2G_i \cdot \frac{\tau_i}{\Delta t}\left[1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_i}}\right]\left(\boldsymbol{e}(t_n) - \boldsymbol{e}(t_{n-1})\right) .$$

Die Verzerrungen werden als harmonische oder konstante Funktionen durch Verzerrungspfade vorgegeben. Daraus folgt eine harmonische Spannung oder eine Spannungsrelaxation. Mit dem Newton-Verfahren kann bei Vorgabe einer Dehnung die resultierende Querdehnung bestimmt werden, wodurch ein Materialtest an einer frei verformbaren Scheibe simuliert werden kann.

3. Künstliche neuronale Netze

Ein Multilayerperceptron mit *FeedForward*-Architektur besteht aus einer Eingabeschicht, einer oder mehreren verdeckten Schichten und einer Ausgabeschicht. Die Neuronen der einzelnen Schichten werden durch Gewichte w_{ij} miteinander verknüpft. Die Eingangsvariablen x_i setzen sich zusammen aus Verzerrung, Spannungsgeschichte, History-Parameter und Verzerrungsrate oder Verzerrungsinkrement und Zeitschrittweite. Die Ausgabewerte z_i des Netzes entsprechen den Spannungskomponenten.



Im Training wird die Fehlerfunktion durch Anpassen der Gewichte mittels eines geeigneten Optimierungsverfahrens minimiert.

4. Ergebnis

In Abb. 4 sind Spannungsverläufe im Testing dargestellt. Für die oberen Verläufen wurden wenig Trainings-Daten verwendet. Durch Erhöhung der Anzahl der Trainings-Daten soll in den unteren Verläufen die Approximation verbessert werden. Bereits mit wenigen Trainings-Daten können mit Uniaxialversuchen im Training Biaxialversuche im Testing abgebildet werden. Dies gilt insbesondere für harmonische Spannungen. Zur besseren Approximation von Spannungsrelaxationen mit $\Delta t = 0,1$s ist eine höhere Anzahl an Trainings-Daten notwendig. Dadurch stellt sich ein zeitschrittweitenrobustes Verhalten ein, wie der Vergleich mit Zeitschrittweite $\Delta t = 0,2$s verdeutlicht.

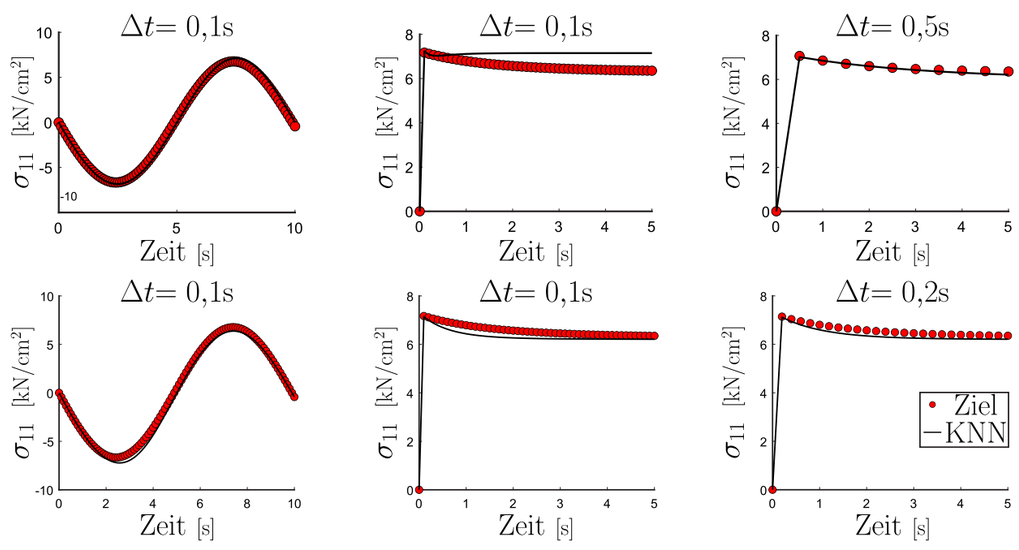


Abbildung 4: *Spannungsverläufe im Testing mit wenig Trainings-Daten (oben) und vielen Trainings-Daten (unten)*