

# Mehrskalenmodellierung anisotroper elastischer Materialien mit künstlichen neuronalen Netzen

Jeremy Geiger

## 1. Einführung

Die effiziente Modellierung von komplexem Materialverhalten stellt auch heute noch Finite-Elemente-Software vor große Herausforderungen. Stand der Forschung sind Mehrskalenmodelle, die auf Homogenisierungsverfahren basieren und mikro- und makroskopische Randwertprobleme (RWP) konsistent koppeln. Erfolgt die Lösung des gekoppelten RWP mit finiten Elementen, wird dies als  $FE^2$  bezeichnet. Um die zeitintensive  $FE$ -Berechnung auf beiden Skalen zu umgehen, wird nachfolgend der Einsatz eines künstlichen neuronalen Netzes (KNN) als Ersatzmodell des Mikroproblems untersucht.

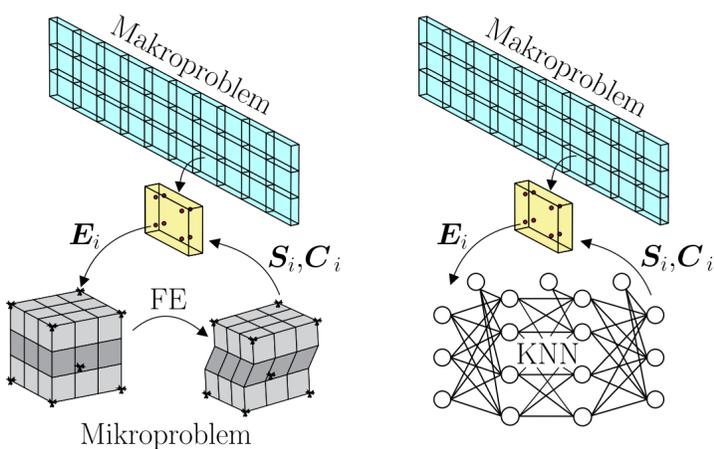


Abbildung 1: Mehrskalenmodellierung mit  $FE^2$  und  $FE$  mit KNN

## 2. Mehrskalenmodellierung

Bei der Mehrskalenmodellierung werden die werkstoffspezifischen Inhomogenitäten am Punkt eines materiellen Körpers durch ein repräsentatives Volumenelement (RVE) abgebildet. Für die Ermittlung

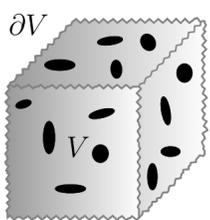


Abbildung 2: RVE

der homogenisierten Spannungen  $S_i$  und der Materialtangente  $C_i$  am Gaußpunkt  $i$  der Makroebene werden periodische Verschiebungsrandbedingungen mithilfe der Verzerrungen  $E_i$  aufgebracht.

$$u^+ = u^- + E_i \Delta x \quad \forall \quad x \in \partial V$$

$$\Delta x = x^+ - x^-$$

## 3. Künstliche neuronale Netze

Zur Approximation des funktionalen Zusammenhangs zwischen den Verzerrungen  $E_i$  und den homogenisierten Spannungen  $S_i$  wird ein KNN als Ersatzmodell eingesetzt. Verwendet wird ein Multi-Layer-Perceptron (MLP), dessen Topologie aus einer Eingabeschicht, einer variablen Anzahl an Zwischenschichten und einer Ausgabe-

schicht besteht. Die einzelnen Schichten enthalten informationsverarbeitende Neurone, welche durch skalarwertige Gewichte miteinander verknüpft sind. Die Suche der optimalen Werte der gewichteten Verbindungen  $w$  gleicht der Minimierung des mittleren Fehlers  $E(E, w)$  zwischen den Zielwerten und der Netzausgabe mit

$$E(E, w) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P [S_p^{RVE}(E) - S_p^{KNN}(E, w)]^2.$$

Ein Trainingsbeispiel  $p$  besteht aus aufgetragenen Verzerrungen als Eingangsgrößen und den resultierenden homogenisierten Spannungen als Ausgangsgrößen. Das Training wurde mit dem Levenberg-Marquardt-Verfahren durchgeführt, eine Kombination aus Gradienten- und Gauß-Newton Verfahren.

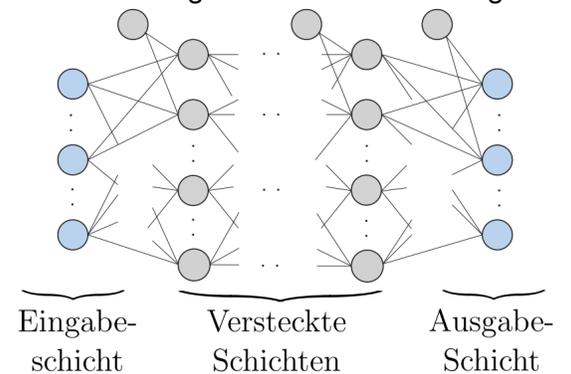


Abbildung 3: Beispiel eines MLP

Die Berechnung der Ableitung der approximierten Spannungen nach den Verzerrungen liefert die lokale Materialtangente.

## 4. Numerisches Beispiel

Als numerisches Beispiel wird ein geschichteter Brettschichtholzbalcken unter einer Einzellast betrachtet. Neben den Verzerrungen wird die Schichtdicke der weicheren Zwischenschicht 2 variabel gehalten.

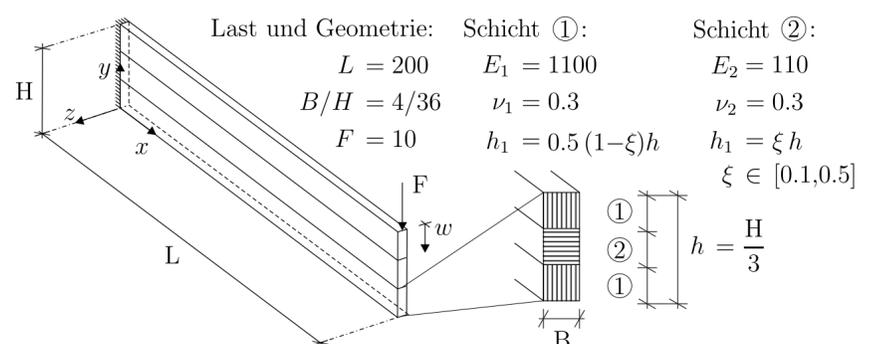


Abbildung 4: System und Materialdaten

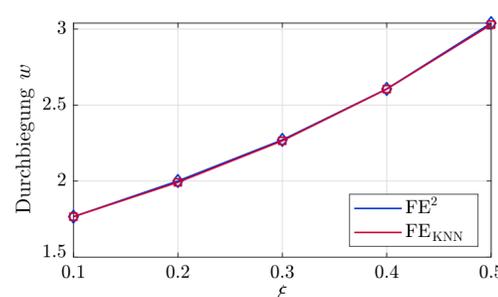


Abbildung 5: Durchbiegung in Abhängigkeit der Schichtdicke

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse für die Durchbiegung am Kragarmende in Abhängigkeit der Höhe der Zwischenschicht für beide Mehrskalenmodelle dargestellt. Mit dem KNN als Ersatzmodell werden vergleichbare Ergebnisse bei deutlich reduziertem Rechenaufwand erzielt.