

Integration von Neuronalen Netzen in die Optimierung von Stabtragwerken mit Evolutionsstrategien

Maximiliane Straub

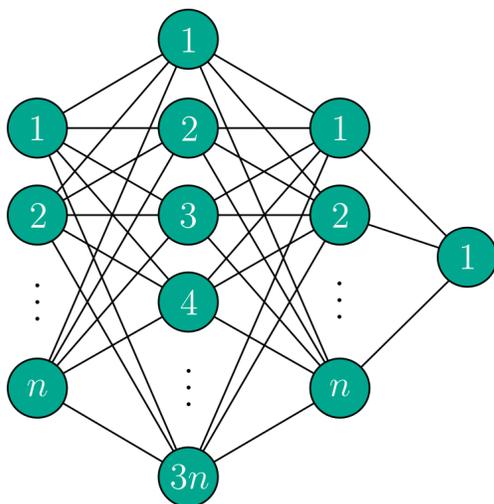
1. Motivation und Ziele

Durch die Optimierung von Tragwerken können Kosteneinsparungen unter anderem durch einen verminderten Materialverbrauch erzielt werden. Mithilfe der Evolutionsstrategie werden mehrdimensionale Optimierungsprobleme ableitungsfrei über Berechnungen von Zielfunktionswerten gelöst und damit ein minimales Gesamtgewicht des Stabtragwerks ermittelt. Ein wesentliches Problem ist hierbei allerdings, dass diese Optimierungen sehr zeit- und rechenintensiv sind. Ziel dieser Arbeit ist es daher zu untersuchen, ob durch Verwendung von Neuronalen Netzen die Optimierungszeit und Rechenintensität, z.B. durch eine Reduzierung von Finite-Elemente-Berechnungen (FE-Berechnungen), gesenkt werden kann.

2. Neuronale Netze

Künstliche Neuronale Netze werden vor allem für Datenanalysen, Datenverarbeitung, Mustererkennung, Klassifizierung sowie Funktionsapproximationen eingesetzt. Dabei wird sich bei der Erstellung Neuronaler Netze an dem Aufbau eines biologischen Gehirns orientiert und kleine, sehr einfach aufgebaute Recheneinheiten, die Neuronen, mittels gewichteter Verbindungen verknüpft. Über eine Aktivierungsfunktion f_{act} wird dabei der Aktivierungsgrad eines Neurons bestimmt. So entsteht ein aus vielen einfachen Einzelteilen zusammengesetzter, sehr mächtiger Algorithmus. In dieser Masterarbeit wird ein Neuronales Netz für die Klassifizierung verwendet.

In einem metaheuristischen Optimierungsalgorithmus, bei welchem mittels Zielfunktionswerten ein globales Minimum gesucht wird, klassifiziert das Neuronale Netz, ob auferlegte Nebenbedingungen eingehalten werden oder nicht. Dazu wird in den bestehenden Optimierungsalgorithmus ein Feedforward-Netz mit einer Netztopologie implementiert, die abhängig von den n Optimierungsparametern ist. Der Trainingsbeginn orientiert sich dabei an dem abgeleiteten Abbruchkriterium des Optimierungsalgorithmus und erfolgt erst, wenn der Suchraum zu einem gewissen Grad eingegrenzt ist. Als Trainingsalgorithmus wird die *offline Backpropagation* gewählt. Hierbei wird mithilfe des Gradienten der Fehlerfunktion E_{train} , welche die Differenz einer erwünschten Ausgabe t und der vom Neuronalen Netz vorhandenen Vorhersage o darstellt, eine Aktualisierung $\Delta \mathbf{w}$ für die Verbindungsgewichte \mathbf{w} durchgeführt. Dabei unterscheidet sich das Update für Verbindungen

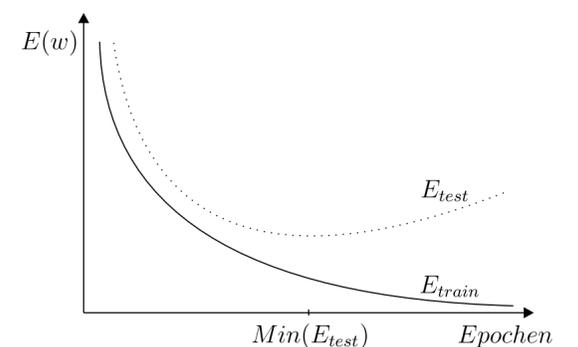


zum Ausgabeneuron U_{out} und zu Neuronen der Zwischenschichten U_{hidden} .

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E(\mathbf{w})}{\partial w_{ij}} = \eta o_i \delta_j$$

$$\delta_j = \begin{cases} f'_{act}(net_j) \cdot (t_j - o_j) & j \in U_{out} \\ f'_{act}(net_j) \cdot \sum_{k \in K} (\delta_k w_{jk}) & j \in U_{hidden} \end{cases}$$

Sind alle Trainingsbeispiele eines Trainingssets durchlaufen, so startet eine neue Trainingsepoche. Nach einer bestimmten Anzahl an Trainingsepochen wird mithilfe von unbekanntem Validierungsbeispielen über einen Testfehler E_{test} die Generalisierbarkeit des Neuronalen Netzes überprüft. Wird das Neuronale Netz zu lange trainiert lernt es die ihm präsentierten Trainingsbeispiele auswendig, unbekannte Problemstellungen werden nur noch unzureichend gelöst. Bei einer Erhöhung des Testfehlers um 5% wird das Training beendet und das Neuronale Netz kann für die Klassifikation im Optimierungsverfahren eingesetzt werden.



3. Numerisches Beispiel und Ergebnis

Mithilfe des in dieser Masterarbeit programmierten Neuronalen Netzes kann im Zuge einer Optimierung von Stabtragwerken mittels der Evolutionsstrategie eine Einsparung von etwa 10% der FE-Rechnungen erzielt werden. Ein verwendetes Rechenbeispiel ist die folgende 10-Stab Fachwerkstruktur mit einer Länge $L = 914,4 \text{ cm}$ und zwei aufgebrauchten Kräften mit $F = 444,82 \text{ kN}$. Die zehn Stabquerschnitte bilden die Optimierungsparameter. Als Nebenbedingungen werden materialbedingte Spannungsbegrenzungen und Verschiebungsbegrenzungen auferlegt. Das gefundene Minimalgewicht liegt für dieses Beispiel bei $2490,57 \text{ kg}$. In dieser Arbeit wird das Tragwerk mit einer Auswahl von 42 verschiedenen Profilquerschnitten aus Aluminium mit einer Größe von $10,45 \text{ cm}^2$ bis $216,13 \text{ cm}^2$ optimiert. Mit einer Integration des Neuronalen Netzes in die Evolutionsstrategie kann die Anzahl an FE-Analysen um durchschnittlich 800 Analysen gesenkt werden, wobei eine ähnliche gute Qualität der Lösung und des Zielfunktionswertes erreicht werden.

