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

Schadensdetektierung mithilfe eines inversen Approximationsmodells am Beispiel von Balkenstrukturen

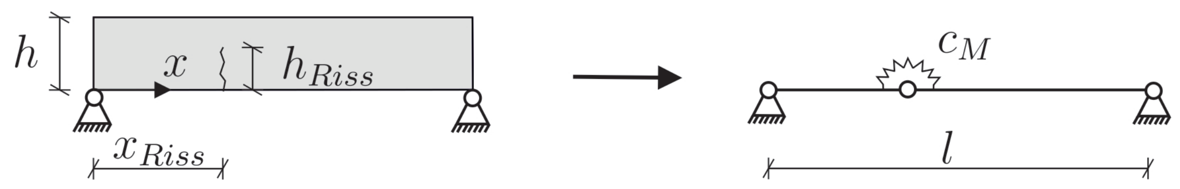
Hannah Felber

1. Motivation und Ziele

Im Bauwesen ist es entscheidend, frühzeitig erkennen zu können, ob und wo ein Bauteil geschädigt ist. Durch eine kontinuierliche Beobachtung des Bauwerks kann die Tragfähigkeit gewährleistet und eine wirtschaftliche Instandsetzung durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll anhand von Prinzipbeispielen untersucht werden, inwiefern eine solche Schadensdetektierung mithilfe baustatischer Modelle möglich ist. Das Ziel ist es, anhand von gemessenen Verformungen oder Eigenkreisfrequenzen, ein Approximationsmodell aufzustellen, das verlässliche Aussagen über Risshöhe und Rissposition an einem Balken treffen kann.

2. Modellierung eines Risses innerhalb eines Balkens

Durch den Riss wird die Biegesteifigkeit des Balkens lokal herabgesetzt. Dieses Verhalten wird mithilfe einer Drehfeder modelliert.

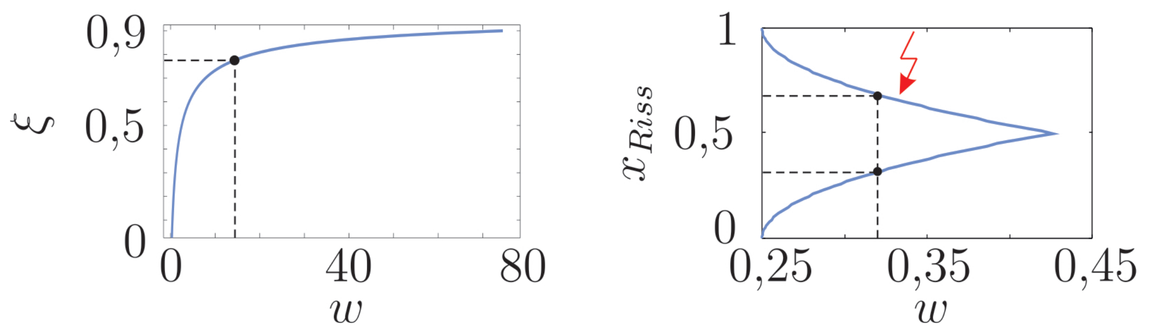


Die Federsteifigkeit in Abhängigkeit der relativen Risshöhe $\xi = h_{Riss}/h$ wird mithilfe des PVV hergeleitet und lautet

$$c_M = \frac{Ebh^2}{12} \frac{(1-\xi)^2}{\xi(2-\xi)} \; .$$

3. Inverse Analyse

Die Bestimmung der Risseigenschaft anhand einer Verformung oder Eigenkreisfrequenz ist ein inverses Problem. Das Ziel ist es, anhand einer beobachteten Wirkung deren Ursache zu bestimmen. Die inverse Analyse gestaltet sich häufig als schwierig, wenn die Inverse des direkten Zusammenhangs nicht als Funktion dargestellt werden kann. So kann die relative Risshöhe ξ anhand einer in einem Punkt gemessenen Durchbiegung w bestimmt werden, nicht aber die Rissposition $x_{Riss} = x/l$, da mehrere Risspositionen die gleichen Durchbiegungen hervorrufen.

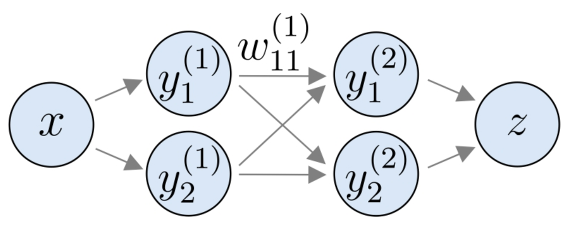


Es wurde hierbei mit Einheitsgrößen gerechnet. Der qualitative Verlauf bleibt auch bei realistischen Größen gleich. Die analytische Lösung eines inversen Problems ist somit häufig nicht möglich oder sehr aufwendig. Daher wurden in dieser Arbeit numerische Approximationsmodelle zur Lösung verwendet. Die Approximation erfolgt anhand von Stützpunkten (x, z), die den Messdaten entsprechen.

4. Approximationsmodelle

In dieser Arbeit wurden die Polynomapproximation und ein künstliches neuronales Netz (KNN) als Approximationsmodell untersucht. Es wird zunächst eine Fehlerfunktion E bezüglich der Stützpunkte definiert, die durch Anpassung der Freiheitsgrade minimal werden soll. Bei der Polynomapproximation sind die Freiheitsgrade die Koeffizienten a_k des Polynoms P der Ordnung p. Das KNN ist aus Neuronen aufgebaut, die über gewichtete Verbindungen miteinander verknüpft sind. In diesem Fall sind die Verbindungsgewichte w_{ji} die Freiheitsgrade.

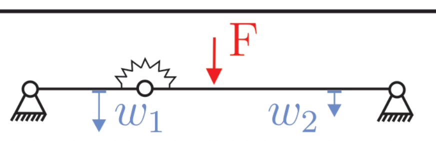
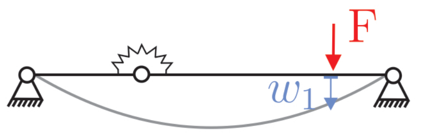
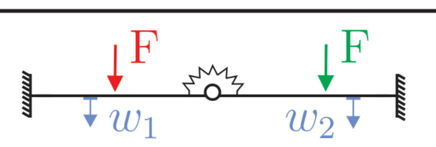
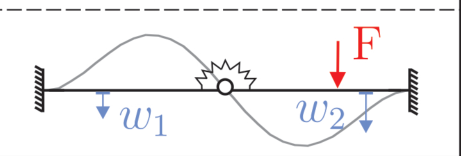
$$z = P_p(x) = \sum_{k=0}^{p} a_k x^k$$



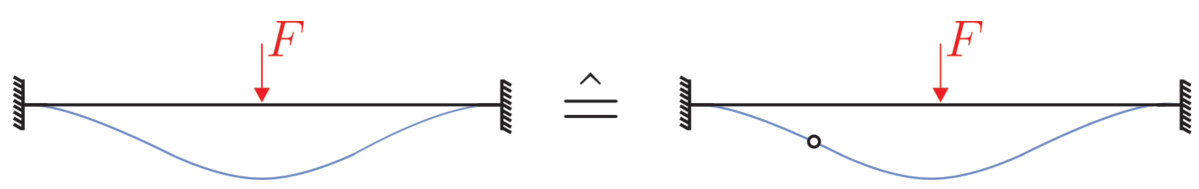
Die Ermittlung der Freiheitsgrade geschieht bei der Polynomapproximation durch die Lösung eines linearen Gleichungssystems, beim KNN über einen Optimierungsalgorithmus.

5. Numerische Beispiele

Um die Ermittlung der Rissposition zu ermöglichen, müssen in Abhängigkeit der Lagerung geeignete Daten gemessen werden.

System	für eindeutige Lösung notwendige Daten
	zwei Verschiebungen
	eine Verschiebung aus exzentrischem Lastfall und eine Eigenkreisfrequenz
	zwei Verschiebungen aus zwei Lastfällen
	zwei Verschiebungen aus exzentrischem Lastfall und zweite Eigenkreisfrequenz

Bei einem beidseitig eingespannten Balken müssen zwei Lastfälle betrachtet werden, da ein Riss im Wendepunkt der Biegelinie des unbeschädigten Balkens keinen Einfluss auf die Verformungen hat.



Eigenkreisfrequenzen können nur mit Verformungen aus exzentrischen Lastfällen kombiniert werden, da sonst die Symmetrieeigenschaften der Wendepunkte der Biegelinie denen der Eigenkreisfrequenzen entsprechen.