

Anwendungsorientierte Strukturoptimierung von Bauteilen in Massivbauweise

Georgios Gaganelis

Mathematische Optimierungsansätze sind seit jeher in verschiedenen Ingenieurdisziplinen unerlässlich. Als Zäsur in der Strukturoptimierung kann zweifelsohne die Entwicklung von iterativen Verfahren der Topologieoptimierung benannt werden – ein Prozess, der vor etwa drei Jahrzehnten begann und noch immer andauert. Im Rahmen der Strukturoptimierung werden dabei die einzelnen Elemente eines FE-Modells mit Designvariablen verknüpft. Ein iterativer Optimierungsalgorithmus sucht anschließend, geleitet von der definierten Zielfunktion, eine durch die Designvariablen gesteuerte, gewichtsreduzierte und möglichst optimale Materialverteilung innerhalb des zulässigen Entwurfsraumes, ohne dabei Restriktionsgrenzen zu verletzen (Bild 1). Sowohl als Zielfunktion als auch als Restriktion können dabei z. B. die Systemnachgiebigkeit, das Bauteilgewicht und Spannungsgrenzen der Materialien definiert werden.

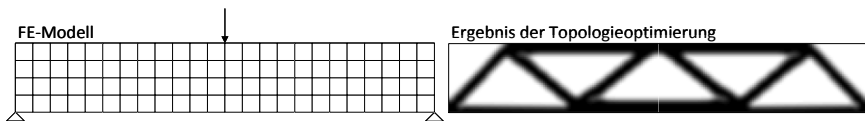


Bild 1: Steifigkeitsoptimierte topologische Materialverteilung am Beispiel eines Einfeldträgers bei 60 % Volumenreduzierung.

Obwohl solche Optimierungsansätze großes Potential aufweisen, ressourceneffiziente Bauteilentwürfe aufzudecken, konnten sie sich in der Baupraxis bisher noch nicht durchsetzen. Die Herausforderung liegt darin, praxisorientierte Verfahren für die speziellen Anforderungen im Massivbau zu entwickeln und die daraus hergeleiteten Bauteildesigns in Versuchen nachzuweisen. Exemplarisches Ziel ist es, hochgradig gewichtsreduzierte Betonelemente aus Hochleistungsmaterialien zu entwickeln, welche trotz hoher Gewichtseinsparung vergleichbare Steifigkeiten und Tragfähigkeiten aufweisen wie konventionelle Stahlbetonbalken. Hierzu wurden zunächst bekannte Methoden der Topologieoptimierung so weiterentwickelt, dass sie das im Massivbau typische Tragverhalten eines Verbundbaustoffes abbilden können. Der Beton wird dabei für den Abtrag der Druck- und die Bewehrung für die Zugspannungen verwendet. Zur Berücksichtigung materialabhängiger Spannungseigenschaften wurde ein multimaterieller Ansatz mit zusätzlichem Penalty-Funktional entwickelt, welches ermöglicht, anisotropes Materialverhalten (bezogen auf das Vorzeichen der Spannungen) in einer linearen FE-Berechnung zu berücksichtigen. Im Hinblick auf die Möglichkeit einer praktischen Umsetzung des Designvorschlags ist es notwendig, die Materialverteilung innerhalb des Entwurfsraumes in eine Tragstruktur zu übersetzen. Hierzu muss zunächst die stetige Verteilung der Designvariablen $0 \leq x_i \leq 1$ in eine binäre Verteilung transformiert werden, bei welcher der Wert 0 bedeutet, dass das Element i „leer“ ist, 1 hingegen einem materialbehafteten Element entspricht. In diesem Zusammenhang wurden unterschiedliche Ansätze untersucht, wobei spezielle Filter, die bei der ursprünglichen Topologieoptimierung zum Erhalt eines 0-1 Designs verwendet werden, nicht ohne weiteres auf das multimaterielle Verfahren übertragen werden konnten. Dies gelingt schließlich mittels volumenerhaltendem Schwellenwert (Thresholding). Schließlich wird der Bauteilrand, zur Übertragung des

