

Einsatz numerischer Optimierungsverfahren in der Fahrzeugentwicklung bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

Stefan Schwarz

Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach, Deutschland

Abstract:

Lean Production erfordert eine permanente Adaptierung der Entwicklungsprozesse an neue Technologien; Ziel muss es sein, die Qualität der Produkte sicherzustellen bzw. zu verbessern, die Entwicklungszeiten zu verkürzen und dadurch Kosten und Ressourcen einzusparen. Dazu gehört auch die Einführung neuer, innovativer CAE-Methoden wie beispielsweise Optimierungsstrategien oder voll-parametrischer Geometriemodelle. Eine wichtige Herausforderung dabei ist deren Integration in bestehende CAE-Prozesse sowie die Nutzung einer geeigneten, performanten Hardwareinfrastruktur.

Mit Hilfe der Strukturoptimierung können beliebige Bauteile bezüglich eines oder mehrerer definierter Entwurfskriterien automatisiert verbessert bzw. verändert werden. Dabei kommen eine Vielzahl mathematisch formulierbarer, zumeist mechanisch aber auch geometrisch orientierter Entwurfskriterien in Frage. Diese, auch als Zielfunktionen bezeichnet, sind beispielsweise die Minimierung des Gewichts (Leichtbau), die Maximierung der Steifigkeit oder die Maximierung der Energieabsorption einer Fahrzeugstruktur im Falle eines Crashes. Nebenbedingungen und Restriktionen beschränken den Entwurfsraum der Optimierungsaufgabe. Je nach Art der Freiheitsgrade bzw. der Optimierungsvariablen unterscheidet man zwischen Topologie-, Form-, Bauteil- und Materialoptimierung.

Allerdings ist es zur Generierung aussagekräftiger und zuverlässiger Konstruktionen mit Hilfe der Methoden der Strukturoptimierung unbedingt erforderlich, das tatsächliche, in der Regel nichtlineare Strukturverhalten bereits während des Optimierungsprozesses möglichst gut zu erfassen.

Aufgabenstellungen der Strukturoptimierung führen in den meisten Fällen zu nichtlinearen Optimierungsaufgaben, die mit Hilfe verschiedenster mathematischer Optimierungsalgorithmen gelöst werden können. Prinzipiell unterscheidet man zwischen gradientenbasierten und gradientenfreien Verfahren. Die Gradientenverfahren (z.B. die Sequentielle Quadratische Programmierung) zeichnen sich durch ihre große Effizienz beim Auffinden lokaler Optima aus. Etablierte Anwendungsgebiete im Fahrzeugentwicklungsprozeß sind hier z.B. die Topologie- und Blechdickenoptimierung in der linearen Strukturmechanik. Für bestimmte Arten strukturmechanischer Nichtlinearitäten ist deren Einsatz unter Verwendung analytischer oder numerischer Sensitivitäten denkbar.

Gradientenfreien Verfahren werden vor allem bei hochgradig nichtlinearen Problemen wie z.B. Crashlastfällen, für die in der Regel weder analytische noch aussagekräftige numerische Gradienten ermittelt werden können, eingesetzt. Bekannte Vertreter sind beispielsweise Monte-Carlo-Verfahren, genetische Algorithmen oder Evolutionsstrategien. Allerdings erfordern diese Methoden zahlreiche Strukturauswertungen und daher den Einsatz entsprechender Hardwareressourcen.

Eine effiziente Mischung von Gradientenverfahren und gradientenfreien Verfahren ist die Verwendung so genannter Response Surface Methoden (RSM). Hier werden zuerst diskrete Stützstellen der Entwurfskriterien mittels Strukturanalyse bestimmt und anschließend deren kontinuierliches Verhalten durch Metamodelle approximiert. Ein Einsatzbereich dieser Vorgehensweise ist die Approximation von hochgradig nichtlinearem Strukturverhalten durch, je nach Software und Verfahren, abschnittsweise definierte, einfache mathematische Funktionen. Die effiziente, gradientenbasierte Optimierung findet dann auf der so erzeugten, durch einfache Funktionen beschreibbare Ersatzfläche statt. Indem die so erzielte optimale Parameterkombination mit dem ursprünglichen Rechenmodell analysiert wird, erhält man eine Aussage über die Güte des verwendeten Metamodells.

Zur weiteren Reduktion von Rechenzeiten bei der Optimierung von Crash-Lastfällen werden oft anstelle der großen Gesamtfahrzeugmodelle reduzierte Finite Elemente Modelle verwendet.

Keywords:

Fahrzeugentwicklung, Strukturoptimierung, nichtlineare Strukturantwort, Crash, Leichtbau