

Numerisches Verfahren zur Optimierung von ebenen Stahlfachwerkträgern

Der vorliegende Aufsatz stellt ein numerisches Verfahren zur Gewichtsoptimierung von ebenen Stahlfachwerkträgern vor. Die Querschnittsabmessungen sowie die Fachwerkhöhe werden iterativ als freie Parameter bis zum Erreichen der gewichtsminimalen Fachwerkstruktur angepaßt. Die erzielten Informationen über Geometrie (Höhe) und Materialverbrauch, dargestellt in einem Höhen-Gewichts-Diagramm, sollen den Tragwerksplaner im Entwurfsprozeß bei der Auslegung von Fachwerkstrukturen unterstützen. Besonders im Hinblick auf ein ökologisches und ökonomisches Handeln gewinnt das gewichtsoptimierte Tragwerk im Entwurfsprozeß immer mehr an Bedeutung.

Numeric method to optimise two-dimensional trussed girder.

A numeric method for weight optimisation of two-dimensional steel trussed girder will be introduced. Two parameters, the cross-section and the height of framework, are to be changed by iteration until the minimal weight of structure is optimized. A height-weight-figure presents the obtained information on geometry and material consumption. The information will support the structural engineer during the first steps of construction design. Due to economic and ecological reasons the optimisation of structure-weight will be of utmost importance in the designing process.

1 Einleitung

Das Entwerfen von Tragwerken beinhaltet das Erarbeiten von Alternativen unter Berücksichtigung aller an ein Tragwerk gestellten Anforderungen. Der Entwurf als Optimierungsprozeß verlangt demnach eine Vielzahl von komplexen Entscheidungen, um die Zielsetzungen, die an ein optimales Tragwerk gestellt werden, erfüllen zu können.

Neben der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit stehen häufig die Material- und Fertigungskosten eines Tragwerks als weitere wesentliche Zielfunktion des Entwurfsprozesses im Vordergrund. Als Beispiel sei hier die Luft- und Raumfahrt genannt. Aus der Forderung wenig Material (Gewicht) in den Tragstrukturen zu verbauen, um damit die Betriebskosten (Treibstoff) zu senken, stellt dort die Gewichtsminimierung eine wesentliche Zielsetzung im Entwurfsprozeß dar. Hinsichtlich dieser Wirtschaftlichkeitsaspekte entstand eine Vielzahl von Veröffentlichungen auf dem Gebiet der computerunterstützten Gewichtsoptimierung von Tragstrukturen. Die Verfahren finden heute in vielen Bereichen der Technik (z. B. Raumfahrtindustrie) ihre Anwendungen (vgl. u. a. [1]). Für den

Bereich von Tragwerken im Bauwesen und im besonderen von Fachwerkstrukturen erschien in den 1980 bis 1990er Jahren ebenfalls eine Vielzahl von Veröffentlichungen (u. a. [2] bis [6]). Dennoch wird im konstruktiven Ingenieurbau zur Zeit die Tragwerksoptimierung nur vereinzelt angewandt. Ein wesentlicher Grund liegt darin, daß die Tragwerke in ihren Dimensionen und Beschaffenheiten sehr individuell als Einzelfertigung ausgeführt werden. Diese Herstellung von „Unikaten“ führt dazu, daß der damit verbundene Optimierungsprozeß einen hohen Rechenaufwand und somit einen meist nicht „vertretbaren“ Zeitaufwand erfordert.

Der vorliegende Artikel stellt ein numerisches Verfahren vor, welches möglichst einfach, rasch und benutzerfreundlich den Tragwerksplaner bereits im Entwurfsprozeß unterstützt. Als freie Parameter werden die Querschnittsabmessungen (Querschnittsoptimierung) der Fachwerkstäbe sowie die Fachwerkhöhe (Geometrieoptimierung) iterativ bis zum Erreichen der gewichtsminimalen Fachwerkstruktur angepaßt. Voraussetzung dabei ist, daß das ebene Fachwerk sowohl äußerlich als auch innerlich statisch bestimmt ist und die auftretenden Belastungen nur vertikal auf das Fachwerk einwirken. Dabei beschränkt sich das Verfahren hier auf die Optimierung von Stahlfachwerken aus Rundrohren (Hohl- und Vollprofile).

2 Mathematische Grundlagen

Die Grundlagen für die mathematischen und mechanischen Zusammenhänge dieses Optimierungsverfahrens sind unter anderem in der Arbeit von Diem/Troger [3] zu finden. Als Voraussetzung wird gefordert, daß eine statisch bestimmte Fachwerkgeometrie vorgegeben ist und daß auf diese nur ein System von parallelen Kräften einwirkt. Die Geometrieoptimierung basiert auf der iterativen Anpassung der Fachwerkhöhe. Die damit verbundene Änderung der Lage der Fachwerkknoten in y-Richtung führt zu einer Änderung der Stabnormalkraft im jeweiligen Iterationsschritt. Die Lage der Fachwerkknoten in x-Richtung wird dabei nicht verändert. Mittels der in Bild 1 dargestellten geometrischen und statischen Bedingungen lassen sich folgende Zusammenhänge schreiben:

Aus der geometrischen Bedingung (Bild 1a) folgt:

$$\tan \alpha_1^{(1)} = \frac{\Delta x_1^{(1)}}{\Delta y_1^{(1)}} \quad (1)$$