



Formoptimierung von Druckgliedern aus Beton und Stahlbeton

Angela Schmidt

Geboren am: 25. Oktober 1988 in Frankfurt (Oder)

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Gutachter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer

Eingereicht am: 1. November 2021

Verteidigt am: 28. Februar 2022

Kurzfassung

Heutzutage werden die allermeisten (Stahl-)Betonstützen mit einem rechteckigen oder kreisförmigen Querschnitt und einem konstanten Verlauf über die Stützenlänge ausgeführt. Entsprechend der konstruktiven Randbedingungen und der vorhandenen Belastung existieren jedoch häufig stärker und schwächer beanspruchte Bereiche innerhalb eines Druckglieds. In der vorliegenden Arbeit wird daher eine Formoptimierung von (Stahl-)Betonstützen vorgenommen und das resultierende Volumeneinsparungs- bzw. Laststeigerungspotenzial aufgezeigt und analysiert. Hierfür werden charakteristische Lastfälle eines typischen Stahlbetonskelettbbaus herangezogen. Vorbetrachtungen führten dazu, dass sich die Untersuchungen vor allem auf planmäßig zentrisch gedrückte, knickgefährdete Stützen sowie auf exzentrisch gedrückte Stützen, bei denen die Biegebeanspruchung infolge einer Rahmenwirkung des Tragsystems resultiert, konzentrieren.

Für zentrisch belastete, knickgefährdete Stützen existieren in der Literatur bereits Ergebnisse zu einer Form- und Querschnittsoptimierung bei bruch sicherem und linear-elastischem Materialverhalten. Die Angaben wurden aufbereitet, überprüft und mit Untersuchungen zu den Auswirkungen einer elastischen Lagerung, einer Imperfektion sowie zum Einfluss eines nichtlinearen Materialverhaltens ergänzt. Die theoretischen Betrachtungen ergaben, dass die optimale Stützenform von der jeweiligen Knickfigur abhängt und somit entsprechend der Lagerungsbedingungen variiert. Für die Verifikation wurden zunächst Vorversuche an rechteckigen Stützen mit konstantem Verlauf und unterschiedlicher Bauteillänge durchgeführt. Diese dienten zu einer besseren Abschätzung des Stabilitätsverhaltens in Abhängigkeit der Schlankheit, der vorhandenen Imperfektionsgröße sowie zur Bestimmung des erzielten Einspanngrades für den gewählten Versuchsstand. Aufbauend auf den Ergebnissen erfolgte die experimentelle Überprüfung des Form- und Querschnittseinflusses. Die in den Versuchen ermittelten Traglasten konnten in allen Fällen sehr gut mit den theoretischen Ansätzen der Elastizitätstheorie vorhergesagt und nachgerechnet werden.

Die Formoptimierung von exzentrisch gedrückten Stützen wurde für unterschiedliche Verhältnisse einer Momenten- und Normalkraftbeanspruchung durchgeführt. Um eine Abgrenzung zu den Betrachtungen des Stabilitätsversagens zu erzielen, beschränken sich die Untersuchungen auf ein eintretendes Materialversagen. Neben der Formfindung wird entsprechend der Beanspruchung auch eine geeignete Materialkombination gewählt, bei der sowohl der Stahl als auch der Beton möglichst ausgelastet werden. Die Optimierung erfolgt iterativ an einer über die Höhe segmentierten Stütze unter dem Kriterium, einen gleichmäßigen Spannungszustand im Bauteil zu erreichen. Die so gewonnenen optimierten Stützenformen orientieren sich an dem Biegemomentenverlauf. Für die Verifikation der Ergebnisse wurde ein Lastfall experimentell untersucht. Anhand dieser Versuchsreihe konnte das gewählte Berechnungs- und Optimierungsverfahren bestätigt werden.

Abstract

Nowadays, the vast majority of (reinforced) concrete columns are designed with a rectangular or circular cross-section and a constant shape along the length of the column. However, depending on the structural boundary conditions and the actual load, there are often stronger and weaker stressed areas within a compression member. In the present work, therefore, a shape optimization of (reinforced) concrete columns is carried out and the resulting volume saving or load increase potential is shown and analyzed. For this purpose, characteristic load cases of a typical reinforced concrete skeleton structure are used. Preliminary considerations led to the fact that the investigations concentrate mainly on centrally loaded columns with buckling risk as well as on eccentrically loaded columns where the bending stress results from a frame effect of the load-bearing system.

For centrally loaded columns with buckling risk, results already exist in the literature on shape and cross-section optimization with unbreakable and linear-elastic material behavior. The data were analyzed, verified and supplemented with investigations on the effects of elastic support, imperfection and the influence of nonlinear material behavior. The theoretical considerations showed that the optimum column shape depends on the respective buckling shape and thus varies according to the conditions of support. For verification purposes, preliminary tests were first carried out on rectangular columns with a constant shape and varying component length. These served to better estimate the stability behavior as a function of slenderness, the existing imperfection size and to determine the degree of clamping achieved for the selected test rig. Based on the results, experimental verification of the influence of shape and cross-section was carried out. In all cases, the ultimate loads determined in the tests could be compared very well with the theoretical approaches of the theory of elasticity and could be recalculated.

The shape optimization of eccentrically pressed columns was carried out for different ratios of a moment and normal force loading. In order to achieve a distinction from the considerations of stability failure, the investigations are limited to an occurring material failure. In addition to finding the shape, a material combination is also selected in accordance with the loading, in which both the steel and the concrete are utilized as much as possible. The optimization is carried out iteratively on a column segmented over its height under the criterion of achieving a uniform stress level in the component. The optimized column shapes obtained in this way are based on the bending moment curve. To verify the results, a load case was investigated experimentally. This series of tests confirmed the selected calculation and optimization method.