

Biegetragverhalten und Mindestbewehrung von Stahlbetonbauteilen

Doctoral Thesis

Author(s):

Kenel Lüthold, Albin

Publication date:

2002

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004470989>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Dissertation ETH Nr. 14874

Biegetragverhalten und Mindestbewehrung von Stahlbetonbauteilen

Abhandlung
zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Albin Kenel Lüthold
dipl. Bauingenieur ETH
geboren am 26. Juni 1969
Bürger von Arth SZ

angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Peter Marti, Referent
Prof. Dr. Aurelio Muttoni, Korreferent

2002

Kurzfassung

Mit der vorliegenden, in vier Teile gegliederten Arbeit soll ein Beitrag zum besseren Verständnis des Trag- und Verformungsverhaltens von Massivbautragwerken, insbesondere von biegebeanspruchten Tragwerkelementen, geleistet werden. Im Vordergrund steht die einheitliche Behandlung gerissener Biegeträger sowohl im Gebrauchszustand als auch im Bereich von plastischen Stahl- und Betondehnungen unter Berücksichtigung der Verbundtragwirkung zwischen Stahl und Beton.

Im ersten Teil der Arbeit werden die wichtigsten bruchmechanischen Versagensmodelle zur Beschreibung des Entfestigungsverhaltens von Beton dargelegt und Grundlagen der linear elastischen und nicht linearen Bruchmechanik eingeführt. Im Zentrum des Interesses stehen dabei kohäsive Rissmodelle. Der Einfluss der Bauteilgrösse auf Versagen und Stabilität des Entfestigungsvorgangs wird erläutert. Unter Verwendung des Modells fiktiver Risse wird anhand des Biegezugversuchs gezeigt, dass die Biegezug- und Zugfestigkeit von Beton mit einfachen analytischen Beziehungen in guter Näherung angegeben werden kann. Im weiteren wird aufgezeigt, dass die unter Voraussetzung der starr-ideal plastischen Verbundschubspannungs-Schlupf-Beziehung des Zuggurtmodells ermittelten Dehnungs- und Spannungsverläufe eine mindestens gleichwertige Übereinstimmung mit faseroptisch ermittelten Messwerten aufweisen wie die mit viel Rechenaufwand verbundenen Vergleichsrechnungen anderer Modelle.

Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit der Mindestbewehrung unter Verwendung bruchmechanischer Modellvorstellungen. Die erforderlichen Mindestbewehrungsgehalte werden mit einer analytischen Funktion approximiert, welche die Grenzen für plastisches und ideal sprödes Materialverhalten beinhaltet. Der Verlauf zwischen diesen Grenzen wird in guter Näherung abgebildet. Diese Vereinfachung wird mit auf Bruchmechanik basierenden Ansätzen und Normvorschriften verglichen. Zur Festlegung einer Bewehrungsreduktion infolge Schwindeigenspannungen werden grobe Anhaltspunkte angegeben.

Nach einem Abriss der geschichtlichen Entwicklung verschiedener Berechnungsmethoden für gerissene Stahlbetonquerschnitte befasst sich der dritte Teil der Arbeit mit dem Gebrauchsverhalten von Biegeträgern. Unter Berücksichtigung des Verbundverhaltens der Bewehrung wird der maximale Rissabstand für Biegeträger mit rechteckigem Querschnitt analytisch ermittelt. Für verschiedene Belastungsgeometrien und statische Systeme werden einfache Gleichungen zur Verformungsberechnung bereitgestellt. Der Mindestbewehrungsgehalt zur Begrenzung der Rissbreiten im Gebrauchszustand wird angegeben.

Im vierten Teil der Arbeit werden vereinfachte Beziehungen zum Verformungsverhalten von Biegeträgern im plastischen Bereich hergeleitet. Unter Verwendung einer vereinfachten Krümmungsberechnung lassen sich Verformungen analytisch berechnen. Für verschiedene Belastungsgeometrien und statische Systeme werden einfache Gleichungen zur Verformungsberechnung entwickelt. Aufbauend auf der vereinfachten Berechnung der Mittendurchbiegung wird das Verformungsvermögen plastischer Gelenkbereiche ermittelt. Im Rahmen einer Parameterstudie werden die wichtigsten Einflüsse, denen das Verformungsvermögen von Stahlbetonträgern unterliegt, behandelt.

Abstract

This thesis is organized in four parts and is aimed at making a contribution to the better understanding of the load-carrying and deformation behaviour of reinforced concrete structures, in particular those subjected to bending. Central to the approach taken in this work is the consistent treatment of cracked reinforced concrete bending elements regardless of whether they are at service load levels or undergoing plastic deformations. This consistent approach is afforded by the consideration of the behaviour of the bond between steel and concrete.

In the first part of the work, key fracture mechanics models that describe the softening behaviour of concrete are presented and the fundamentals of linearly-elastic and non-linear fracture mechanics are introduced. Of prime interest in this discussion are the cohesive crack models. The influence of scale on the failure caused by and stability of softening effects are clarified. Using the Fictitious Crack Model and the results of bending tests, it is shown that simple analytical models can be used to approximate the modulus of rupture as well as the tensile strength of the concrete. It is further shown that deformations calculated using the simple rigid-plastic bond-slip relationship of the Tension Chord Model are as good as deformations calculated using much more complicated and computational intensive models when compared with fibre optic-measured deformations.

The second part of the work is concerned with minimum reinforcement requirements as derived from fracture mechanics models. Minimum reinforcement requirements are approximated using an analytical function that includes a definition for the limits of plastic and ideally brittle material behaviour. A good approximation is made of the transition between these two boundaries. The results of this simplification are compared with fracture mechanics-based conclusions and building code requirements. The amount by which reinforcement can be reduced as a result of shrinkage stresses is indicated using simple criteria.

In the third part of the work the historical development of crack calculation methods for reinforced concrete cross-sections is outlined and the service level behaviour of reinforced concrete beams is considered. The maximum crack spacing for a beam with a rectangular cross-section is determined by considering bond. For different load arrangements and static systems, simple equations are presented to estimate deflections. The minimum reinforcement content required to control crack widths is given.

In the fourth part of the work, simplified relationships are derived to predict the deflections of beams undergoing plastic deformation. Deformations are determined analytically using a simplified curvature calculation. Simple equations are developed to calculate deformations for various load arrangements and static systems. Based on a simplified calculation of the centre deflection, the deformation capacity of a plastic hinge is determined. A parametric study is used to treat the most important influences on the deformation capacity of a reinforced concrete beam.