



Doctoral Thesis

Serviceability analysis of reinforced concrete based in the tension chord model

Author(s):

Burns, Clare

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007179384> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 19979

**SERVICEABILITY ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE
BASED ON THE TENSION CHORD MODEL**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
CLARE BURNS
Dipl. Bauingenieur ETH
born on the 25 July 1977
citizen of Effingen, AG

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Peter Marti, examiner
Prof. Dr. György L. Balázs, co-examiner

2011

Abstract

In the present thesis the Tension Chord Model is applied to describe the deformation behaviour of reinforced concrete (RC) tensile and bending members in the serviceability limit state.

After an introduction (**Chapter 1**), the most frequently used crack width and deflection approaches are described in **Chapter 2**. The two different concepts of transfer length adopted by the slipping-bond and concrete-cover crack width approaches are compared in the first part of the chapter. The second part of the chapter discusses the tension stiffening models of Branson and Rao, which differ especially for low reinforcement ratios. Further, global deflection approaches are compared.

Chapter 3 contains the basic principles required for the crack width and deflection approaches presented in Chapter 4. The first two parts of the chapter summarise the concrete and steel material properties used for the serviceability limit state. The third part of the chapter deals with approaches for determining the State I and II section deformations under sustained and variable loads. It is shown that the Age-Adjusted Effective Modulus Method (AAEMM) and the Effective Modulus Method (EMM) provide similar deformations for ordinary RC sections under sustained loads. In the fourth part of the chapter the Tension Chord Model is presented and its two main assumptions, which are the rigid-perfectly plastic bond stress-slip relation and the constant tensile strength, are discussed.

The first part of **Chapter 4** provides expressions for considering tension stiffening in bending members under short-term and sustained loads as well as during unloading. The moment-induced crack width equations given in the second part of the chapter are functions of the transformed section properties. They are followed by a discussion on restraint-induced cracking due to uniform cooling- and shrinkage-induced strains. Besides span-to-depth ratios, the third section of the chapter illustrates system-dependent interpolation coefficients for global deflection calculations.

In **Chapter 5** the approaches discussed in Chapter 4 are verified with a selection of test series from various research institutions. The test data comparisons show that the State II section approach (cracked elastic state neglecting tension stiffening) leads to consistent upper limit predictions for the local and integral deformations of members with constant moment distributions. In combination with the Tension Chord Model the State II section approach provides good lower limit deformation predictions. In most cases, the Tension Chord Model gives a good estimate of the maximum crack spacing. However, both the deformation and crack width comparisons show that the effective deformations vary arbitrarily between the lower (considering tension stiffening) and upper (no tension stiffening) limits. Further, the support moments predicted for the two-span beams are all larger than the measured values.

Chapter 6 discusses the approaches illustrated in Chapter 4. It is shown that lightly (strongly) reinforced end-restrained tensile members are characterized by widely (closely) spaced cracks with large (small) crack openings. The cracking behaviour of bending members is strongly dependent on the effective reinforcement ratio of the tension chord. Moment redistributions have a large influence on beam deflections, while the relative influence of tension stiffening decreases with increasing load level and time.

The overall conclusions are summarized in **Chapter 7**.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt, wie das Verformungsverhalten von Zuggliedern und Balken mit dem Zuggurtmodell modelliert werden kann. Nach einer Einführung (**Kapitel 1**) werden in **Kapitel 2** häufig verwendete Berechnungsmodelle für Rissbreiten und Durchbiegungen betrachtet. Im ersten Teil des Kapitels werden zwei unterschiedliche Rissmodelle verglichen. Im ersten Modell wird der Rissabstand unter Annahme eines verschieblichen Verbundes berechnet, während im zweiten Modell die Betonüberdeckung dazu benützt wird. Der zweite Teil des Kapitels beinhaltet Raos und Bransons Modelle zur Berücksichtigung der Zugversteifung. Insbesondere bei tiefen Bewehrungsgehalten liefern die beiden Modelle unterschiedliche Resultate. Am Schluss des Kapitels werden globale Durchbiegungsmodelle verglichen.

Kapitel 3 beinhaltet die Grundlagen der Berechnungsmodelle in Kapitel 4. Die ersten beiden Kapitelteile geben einen Überblick über das Materialverhalten von Stahl und Beton unter Gebrauchslasten. Im dritten Teil des Kapitels werden Berechnungsmodelle für Querschnittsverformungen unter Langzeit- und veränderlichen Lasten besprochen. Es wird gezeigt, dass die Annahme eines wirksamen Elastizitätsmoduls (EMM) und das Verfahren von Trost (AAEMM) ähnliche Verformungen für gewöhnliche Stahlbetonquerschnitte unter Langzeitbiegung ergeben. Im vierten Kapitelteil werden das Zuggurtmodell vorgestellt und seine beiden Hauptannahmen erläutert. Es handelt sich dabei um die starr-ideal plastische Verbundschubspannungs-Schlupf-Beziehung und die konstante Betonzugfestigkeit.

Im ersten Teil von **Kapitel 4** werden Ansätze für die Berücksichtigung der Zugversteifung in Biegeträgern unter Langzeitlasten und während der Entlastung präsentiert. Im zweiten Teil des Kapitels werden die Biegerissbreiten mit ideellen Querschnittswerten berechnet. Es folgt eine Diskussion über das Rissverhalten von beidseitig eingespannten Zuggliedern infolge gleichmässig verteilter temperatur- und schwindinduzierter Dehnungen. Der dritte Teil des Kapitels beinhaltet Biegeschlankheiten sowie Interpolationskoeffizienten für globale Durchbiegungsberechnungen.

In **Kapitel 5** werden die Berechnungsmodelle aus Kapitel 4 mit Versuchsdaten von verschiedenen Forschungsinstituten verifiziert. Die Nachrechnungen zeigen, dass Verformungsberechnungen an Querschnitten im Zustand II (gerissen elastisches Materialverhalten ohne Zugversteifung) zuverlässige obere Grenzwerte der lokalen und integralen Verformungen liefern. Wird zusätzlich mit dem Zuggurtmodell die Zugversteifung berücksichtigt, entstehen gute untere Grenzwerte. Das Zuggurtmodell liefert auch einen guten Richtwert für den maximalen Rissabstand. Es ist aber zu beachten, dass die gemessenen Rissbreiten und Verformungen beliebig zwischen den oberen (ohne Zugversteifung) und unteren (mit Zugversteifung) Grenzwerten liegen. Des Weiteren werden die Stützmente bei den Zweifeldträgern rechnerisch überschätzt.

In **Kapitel 6** werden die Berechnungsmodelle aus Kapitel 4 diskutiert. Es wird gezeigt, dass bei beidseitig eingespannten Zuggliedern eine schwache (starke) Bewehrung zu grossen (kleinen) Rissabständen und entsprechend grossen (kleinen) Rissbreiten führt. Das Rissverhalten von Biegeträgern ist stark vom effektiven Bewehrungsgehalt im Zuggurt abhängig. Momentenumlagerungen haben einen grossen Einfluss auf die integralen Verformungen, während der relative Einfluss der Zugversteifung mit zunehmender Last und Zeit abnimmt. **Kapitel 7** beinhaltet Schlussfolgerungen.