



Doctoral Thesis

Ermüdung von Stahlbetonbalken unter Biegung und Querkraft

Author(s):

Frey, Rudolf P.

Publication Date:

1984

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000342886> →

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 Nr. 7593

ERMÜDUNG VON STAHLBETONBALKEN UNTER BIEGUNG UND QUERKRAFT

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines

DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN

HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

RUDOLF PETER FREY

Dipl. Bauing. ETH

geboren am 30. März 1944

von Densbüren, Kanton Aargau

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. B. Thürlimann, Referent

Prof. R. Favre, Korreferent

Zürich 1984

Zusammenfassung

Bei der Bemessung von Stahlbeton auf Ermüdung stellen sich hauptsächlich zwei Fragen. Die erste betrifft das Verhalten der beiden Materialien Stahl und Beton unter oftmals wiederholter Belastung, insbesondere das Bruchverhalten. Die zweite Frage stellt sich in bezug auf die auftretenden Spannungen und Spannungsdifferenzen in den beiden Materialien im Bauteil. Sie kann nur beantwortet werden, wenn die innere Tragwirkung des Bauteils bekannt ist. Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, einen Beitrag zur Beantwortung der beiden Fragen zu leisten.

Im ersten Kapitel wird ein kurzer geschichtlicher Ueberblick über die bisherige Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Ermüdung von Stahlbeton gegeben. Es werden vor allem die Anfänge der Forschung und die Anstösse zu den einzelnen Forschungsrichtungen auf dem Gebiet der Ermüdung von Stahlbeton beschrieben.

Im zweiten Kapitel wird das Materialverhalten unter Ermüdungsbeanspruchung erörtert. Dies erfolgt aufgrund der in der Literatur veröffentlichten Forschungsergebnisse. Der Einfluss der wichtigsten Parameter auf die Ermüdungsfestigkeit und das Deformationsverhalten des Betons wird aufgezeigt. Die Auswirkung der Ermüdungsbelastung mit variablen Amplituden auf die Ermüdungsfestigkeit des Betons sowie die Anwendung von Schadenakkumulationshypothesen werden diskutiert. Das Ermüdungsverhalten des Bewehrungsstahls, das infolge der Oberflächenbeschaffenheit und dem Herstellungsverfahren produktabhängig ist, wird kurz und unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussgrössen, die für alle Stähle Gültigkeit haben, beschrieben.

Im dritten Kapitel wird das experimentell beobachtete Tragverhalten schubbewehrter Stahlbetonbalken unter oftmals wiederholter Belastung beschrieben und theoretisch untersucht sowie deren Bemessung auf Ermüdung behandelt. Dazu werden idealisierte Stoffgesetze verwendet und die Bruchhypothesen für Beton und Stahl unter Ermüdungsbelastung formuliert.

Es zeigte sich, dass Stahlbetonbalken unter Biegung und grosser Querkraft auf Gebrauchslastniveau in ihre funktionellen Elemente Steg, Druck- und

Zugflansche aufgeteilt werden können. Der Steg wirkt als Schubwand und die Flanschen wirken als Druck- bzw. Zugstringer. Unter oftmals wiederholter Belastung kann die Tragwirkung unter Annahme linear elastischen Verhaltens von Stahl und Beton unter Lastdifferenz mit dem Betondruckfeldmodell beschrieben werden. Die Zugfestigkeit des Betons wird dabei vernachlässigt. Beim Vergleich der Theorie mit den Ergebnissen aus dem Versuchsbericht [65] zeigt sich für unterschiedliche Verhältnisse Schubbewehrung/Längsbewehrung und für zwei verschiedene Stegstärken eine gute Übereinstimmung.

Für die praktische Bemessung wird ein Näherungsverfahren für die Bestimmung der Druckfeldneigung unter Gebrauchslasten aus dem Bruchneigungswinkel, der aus der starr-plastischen Bemessung auf Bruch hervorgeht, hergeleitet. Die Näherung ist gut für unterbewehrte Stahlbetonträger (Fließen beider Bewehrungen im Bruch) und ergibt bei starrer Längsbewehrung eine leichte Überschätzung der Bügelbeanspruchung unter oftmals wiederholter Belastung auf Gebrauchslastniveau, während der Einfluss der Querkraft auf die Längsbewehrung leicht unterschätzt wird. Die Berücksichtigung einer Vorspannung in Trägerlängsrichtung mit Hilfe einer Spannungsüberlagerung wird diskutiert und mit der exakten Lösung aus der Druckfeldtheorie verglichen.

Schliesslich wird aufgezeigt, auf welchem Konzept die Ermüdungsbemessung von Stahlbeton aufgebaut sein soll und wie eine praktische Bemessung von Stahlbetonbauteilen unter Biegung und Querkraft auf Ermüdung erfolgen kann.

Summary

In the design of reinforced concrete for fatigue two main questions arise. The first is the question of the behaviour of the two materials (concrete and steel) under often repeated loading. The second is the question about the determination of the stresses and stress ranges in the materials in the reinforced concrete member. The latter can only be determined if the internal structural behaviour is known. The present study aims to contribute to answering of both questions.

In the first chapter, a short historical review of research in the field of fatigue of reinforced concrete is given. Both the origins of the early investigations and the later stimuli to take new directions in fatigue research are summarized.

In the second chapter, the behaviour of the two basic materials (concrete and steel) under fatigue loading is discussed. This is done on the basis of the research results published in the literature. The influence of the main parameters on the fatigue strength and the deformation characteristics of the concrete are shown. The effect of variable amplitude loading on the fatigue strength of the concrete and the applicability of cumulative damage hypotheses are discussed. The fatigue behaviour of the reinforcing steel which is product-dependent because of the nature of the surface and the manufacturing process is briefly discussed. The most important parameters which are generally common for all steels are considered.

In the third chapter, the experimentally observed structural behaviour of T-beams with shear reinforcement and subjected to often repeated loading is presented and theoretically investigated. For that purpose, idealised material behaviour is assumed and the fatigue hypotheses for concrete and steel under fatigue loading are formulated.

It was found that beams under high shear forces at the service load level can be decomposed into their functional elements: web, tension- and compression flange. The web acts as a shear wall element and the flanges as tension- and compression stringers. Under often repeated loading the structural behaviour can be described with the compression field model

using the assumptions of linear elastic material behaviour for both concrete and steel in the varying load range and of zero tensile strength of the concrete. The comparison of the theoretical predictions with the results of the test series described in the related report [65] shows good agreement for varying shear to bending reinforcement ratios and for two different web thicknesses.

For practical design purposes an approximate design procedure is shown for the determination of the inclination of the compression field under service load. This is derived from the inclination under ultimate load assuming rigid plastic material behaviour. The approximation is good for the case of underreinforced beams (yielding of both flexural and shear reinforcement under ultimate load). For cases where the longitudinal reinforcement does not yield the approximation gives an overestimation of the stirrup stresses while the influence of the shear force on the bending reinforcement under service load conditions is underestimated. The influence of a longitudinal prestressing force on the structural behaviour is analysed using stress superposition and is compared with the theoretical solution of the compression field theory.

Finally, the conceptual basis for the design for reinforced concrete under fatigue is shown and practical fatigue design rules for beams under bending and shear are given.