

Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten von Spanngliedern im sofortigen und nachträglichen Verbund

Investigations on the Fatigue Behaviour of Pre- and Post-tensioned Steel

Remitz, J.; Empelmann, M.

Abstract

The fatigue strength of prestressing steel is regulated in the EC2 /1/ by corresponding fatigue strength curves that describe the relationship between the stress range in the prestressing steel and the fatigue life. Due to the complex stress conditions in prestressed concrete beams, the fatigue strength of the prestressing steel is affected by many factors and mechanisms. At the iBMB, Division of Concrete Construction theoretical and experimental investigations on pre- and posttensioned concrete beams were carried out. The results were compared with results from the literature and the approach of the EC2.

1. Einführung und Motivation

Bauwerke unter Ermüdungsbeanspruchung, wie z. B. Brücken, Kranbahnträger und Mastkonstruktionen von Windenergieanlagen, sind gegen ein Ermüdungsversagen zu bemessen. Bei vorgespannten Bauteilen ist dabei häufig das Versagen des eingebauten Spannstahls maßgebend.

Am iBMB, Fachgebiet Massivbau wurden im Rahmen von zwei DIBt-Forschungsvorhaben theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten von Spanngliedern im eingebauten Zustand durchgeführt. Aufbauend auf einer Zusammenstellung der in der Fachliteratur beschriebenen Versuche an Spannbetonträgern in einer Datenbank wurden am iBMB insgesamt fünf weitere Versuche an Spannbetonträgern durchgeführt, davon vier mit nachträglichem (B1 bis B4) und einer mit sofortigem Verbund (B5) /2/, /3/. Mit den Versuchen wurden die bisherigen in der Fachliteratur nur beschränkt vorliegenden Untersuchungen mit geringen Spannungsschwingbreiten im Spannstahl und hohen Lastwechselzahlen, d. h. im Bereich des Knickpunktes der Wöhlerlinie nach EC2+NA /1/, erweitert.

2. Spannglieder im nachträglichen Verbund

Spannglieder im nachträglichen Verbund unterliegen insbesondere im Bereich von Umlenkungen komplexen Beanspruchungsverhältnissen, die zu erhöhten Ermüdungsbelastungen führen und die Ermüdungsfestigkeit,

bezogen auf die reine Materialermüdung des Spannstahls, deutlich reduzieren können (Bild 1).

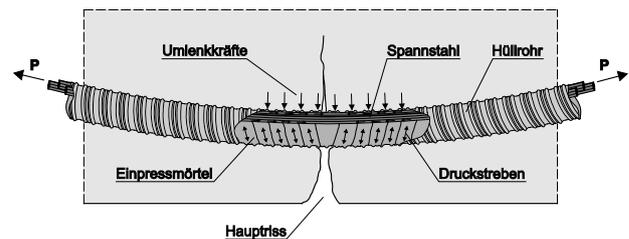


Bild 1: Beanspruchungsverhältnisse bei gekrümmten Spanngliedern im nachträglichen Verbund

Mit den Versuchen an Spannbetonträgern mit Vorspannung im nachträglichen Verbund wurden im Wesentlichen der Einfluss unterschiedlicher Betonfestigkeiten und die Auswirkungen unterschiedlicher Hüllrohrkrümmungen geprüft (Bild 2).



Bild 2: Versuchsstand (oben), Bewehrungskorb von B1 bis B3 (Mitte) und B4 (unten)

Als Spannglieder wurden je Versuchsträger fünf 0,6"-Spannstahlitzen in runden Stahlhüllrohren verwendet.

Nach den Untersuchungen konnten deutliche Korrosionsspuren im Bereich der Kontaktstellen „Spannstahl-Hüllrohr“ festgestellt werden, die aus den Reibdauerbeanspruchungen infolge der Spanngliedumlenkung resultierten (Reibkorrosion) und schließlich zum Versagen des Spannstahls führten (Bild 3).



Bild 3: Reibspuren am Beton (links), am Hüllrohr (Mitte) und daraus resultierte Drahtbrüche (rechts)

Die Auswertung der Versuche ergab, dass mit dem Versuchsträger B2 die Ergebnisse aus der Fachliteratur oberhalb einer Schwingbreite von 120 N/mm² (Knickpunkt der Wöhlerlinie nach EC2+NA) bestätigt werden (Bild 4).

Bei den Versuchsträgern B1 bis B3 wurde der minimale Hüllrohrradius entsprechend der Zulassung des Spannsystems angeordnet. Demgegenüber wurde beim Versuchsträger B4 der doppelte Mindestradius gemäß Zulassung gewählt (vgl. Bild 2). Es konnte festgestellt werden, dass sich durch den doppelten Hüllrohrradius (Halbierung der Krümmung) die Ermüdungsfestigkeit des Spannstahls deutlich verbesserte und innerhalb von 10⁷ Lastwechseln kein Spannstahlbruch auftrat (Bild 4).

Durch den Einsatz eines hochfesten Betons (B3) reduzierte sich die Lastwechselzahl bis zum Bruch eines Spanndrahtes im Vergleich zu einem normalfesten Beton (B1) nur geringfügig.

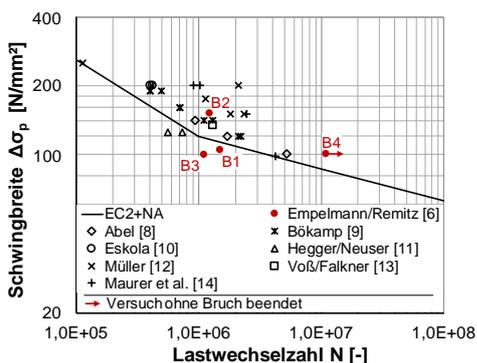


Bild 4: Vergleich der Versuchsergebnisse von Spanngliedern im nachträglichen Verbund in Stahlhüllrohren mit der Wöhlerlinie nach EC2+NA (Quellen siehe /3/)

3. Spannglieder im sofortigen Verbund

Anhand der Untersuchung eines Spannbettbinders (B5) mit Spanngliedern im sofortigen Verbund (0,5“-Litzen) konnten die bis dato vorliegenden Untersuchungen aus der Fachliteratur bestätigt werden (Bild 5). Es zeigt sich, dass oberhalb einer Schwingbreite von 200 N/mm² bzw. bis zu einer Lastwechselzahl von etwa 10⁶ die Versuchsergebnisse von der Wöhlerlinie nach EC2+NA auf der sicheren Seite erfasst werden. Im Bereich kleinerer Schwingbreiten (< 200 N/mm²) und höherer Lastwechselzahlen (> 10⁶) weichen die Versuchsergebnisse teilweise deutlich von der Wöhlerlinie nach EC2+NA ab. Zudem konnte anhand von vergleichenden Untersuchungen an freischwingenden Spannstahlproben festgestellt werden, dass die Spannstähle im eingebauten Zustand ein deutlich schlechteres Ermüdungsverhalten oberhalb einer Lastwechselzahl von 10⁶ zeigen. Für die Ursache dieser Abweichungen und die Erfassung des tatsächlichen Ermüdungsverhaltens sind weitere Untersuchungen erforderlich.

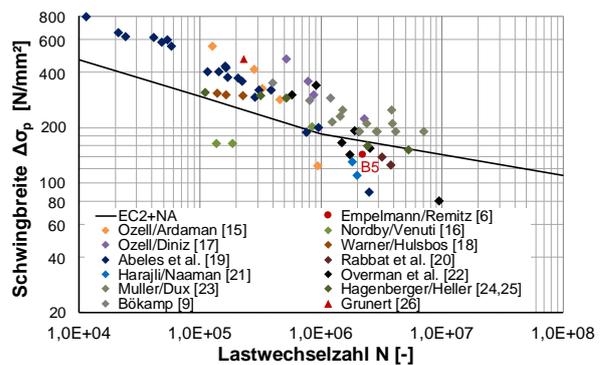


Bild 5: Vergleich der Versuchsergebnisse von Spanngliedern im sofortigen Verbund mit der Wöhlerlinie nach EC2+NA (Quellen siehe /3/)

4. Literatur

- /1/ DIN EN 1992-1-1 inklusive des nationalen Anhangs für Deutschland, Ausgabe Januar 2012.
- /2/ Empelmann, M.; Remitz, J.: Ermüdungsverhalten von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund. Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 11, S. 760-770.
- /3/ Remitz, J.; Empelmann, M.: Ermüdungsfestigkeit von eingebauten Spanngliedern. Bauingenieur 90 (2015), Heft 12, S. 553-561.