

Einfluss von Umlenkbelastungen auf die Ermüdung von Spanngliedern im nachträglichen Verbund

Influence of lateral loads on the fatigue of prestressing steel in post-tensioned concrete

Empelmann, M.; Remitz, J.

Abstract

The fatigue strength of prestressing steel in post-tensioned concrete structures can be reduced significantly in regions of high curvature caused by high lateral contact loads and friction stresses in the contact zone between prestressing steel and duct. Since the lateral loads in these contact zone depend on the amount and arrangement of steel in the duct, initially approved tendon configurations were investigated with regard to the local contact loads between prestressing steel and duct (k -factor). In order to determine the effects of the resulting lateral loads on the fatigue strength of the prestressing steel, international and own fatigue tests were evaluated. It could be shown that both the amount and the arrangement of steel in the duct and the lateral loads have a significant influence on the fatigue behavior of curved tendons. On this basis a modified verification approach reflecting the fatigue strength of curved tendons was formulated in consideration of the lateral loads.

1. Einleitung

Bei einer Vorspannung mit nachträglichem Verbund werden die Spannstähle in Hüllrohren verlegt und im Bereich von Spanngliedumlenkungen beim Vorspannen gegen die Hüllrohre gedrückt. Hierdurch ergeben sich Umlenkbelastungen auf die Spannstähle, die orthogonal zum Spanngliedverlauf wirken (Bild 1) und deren Höhe von der Spannkraft im Stahl, dem Umlenkradius des Hüllrohres sowie der Spannstahlanordnung und -anzahl im Hüllrohr und der sich daraus ergebenden lokal erhöhten Kontaktkräfte (Bild 1, rechts) abhängig ist.

Bei Spannbetonbauteilen unter nicht vorwiegend ruhender bzw. zyklischer Belastung können diese Umlenkbelastungen zu Reibdauerbeanspruchungen zwischen Spannstahl und Hüllrohr führen, die eine Reduzierung der Ermüdungsfestigkeit des Spannstahls hervorrufen können. Um den Einfluss der Umlenkbelastungen auf das Ermüdungsverhalten von Spanngliedern im nachträglichen Verbund zu untersuchen, wurde die vorhandene iBMB-Datenbank mit eigenen und in der Fachliteratur dokumentierten Ermüdungsversuchen (/2/, /3/) hinsichtlich der auftretenden Umlenkbeanspruchungen ausgewertet /1/.

2. Ermittlung der Umlenkbelastung

Die Umlenkbelastung auf die in Hüllrohren geführten Spannstähle ist grundsätzlich abhängig von der Spannkraft im Spannstahl und der Hüllrohr- bzw. Spanngliedkrümmung. Die Umlenkbelastung eines Spannglieds u_p (vgl. Bild 1) kann über das Verhältnis von Spannkraft P und Krümmungsradius R bestimmt werden. Bei umgelenkten Bündelspanngliedern führt die „gestapelte“ Anordnung der Spannstähle im Hüllrohr zu lokal erhöhten Kontaktkräften der am Hüllrohr anliegenden Spannstähle (vgl. Bild 1, rechts). Diese können bei der Berechnung der maximalen Umlenkbelastung eines einzelnen, am Hüllrohr anliegenden Spannstahls $u_{p,max}$ durch Ansatz eines Stapelfaktors k_{max} bezogen auf die Anzahl der Spannstähle n berücksichtigt werden:

$$u_{p,max} = \frac{P}{R \cdot n} \cdot k_{max} \quad (1)$$

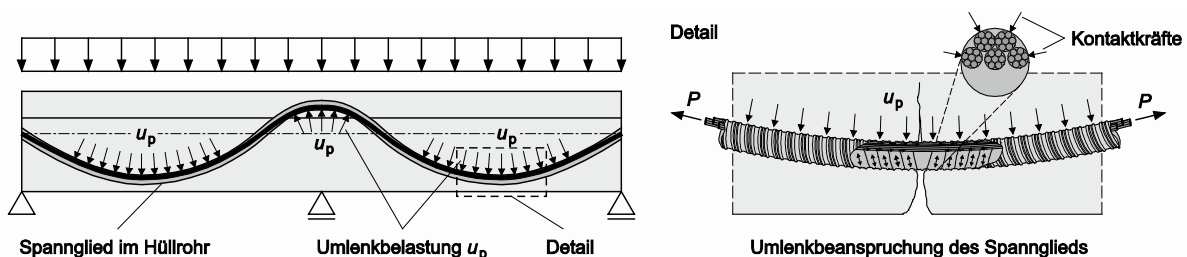


Bild 1: Umlenkbelastungen auf Spannglieder im nachträglichen Verbund /1/

Der maximale Stapelfaktor für beliebige Spanngliedkonfigurationen kann mittels Stabwerkmodell bestimmt werden (Bild 2). Die berechnete maximale Kontaktkraft zwischen Spannstahl und Hüllrohr (radiale Auflagerkraft) entspricht dem maximalen Stapelfaktor k_{max} .

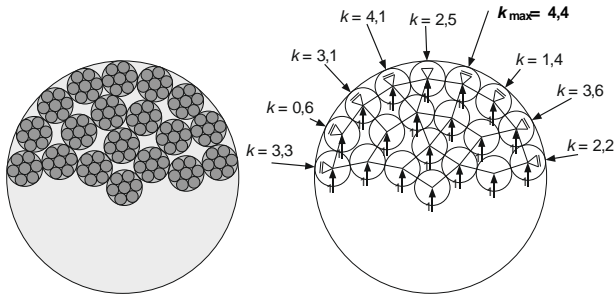


Bild 2: Exemplarische Berechnung des maximalen Stapelfaktors mittels Stabwerkmodell /1/

Um einen vereinfachten Berechnungsansatz zur Abschätzung des maximalen Stapelfaktors herzuleiten, wurde für die in Deutschland derzeit zugelassenen Spanngliedssysteme mit nachträglichem Verbund der maximale Stapelfaktor mittels Stabwerkmodell berechnet. Insgesamt wurden 101 verschiedene Spanngliedkonfigurationen mit bis zu 55 Litzen in einem Hüllrohr ausgewertet. Die daraus abgeleitete vereinfachte Berechnungsformel für den maximalen Stapelfaktor berücksichtigt neben der Anzahl der Spannstähle n auch das Verhältnis zwischen Spannstahldurchmesser \varnothing_p und Hüllrohrdurchmesser \varnothing_{duct} :

$$k_{max,est} = 1 + 0,9 \cdot \frac{\varnothing_p}{\varnothing_{duct}} \cdot (n^{1,2} - 1) \quad (2)$$

Mit dieser Näherungsgleichung können die maximalen Stapelfaktoren sowohl für die derzeit zugelassenen Spanngliedkonfigurationen als auch für die Spanngliedkonfigurationen der Ermüdungsversuche an Spannbetonträgern sehr gut abgeschätzt werden (Bild 3).

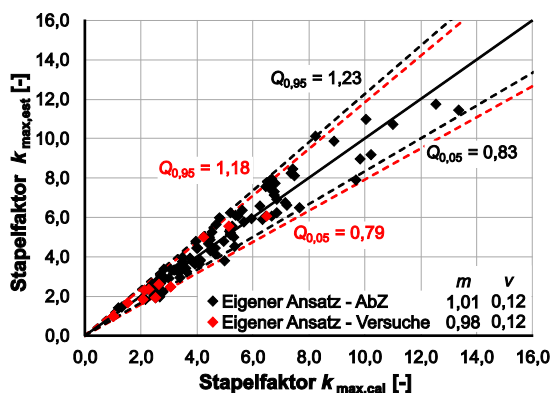


Bild 3: Vergleich zwischen berechneten und abgeschätzten Stapelfaktoren /1/

3. Einfluss der Umlenkbelastung auf die Ermüdungsfestigkeit des Spannstahls

Um den Einfluss der Umlenkbelastung auf die Ermüdungsfestigkeit des Spannstahls zu bestimmen, wurden eigene und in der Literatur dokumentierte Ermüdungsversuche ausgewertet. Hierzu wurden die maximalen Umlenkbelastungen auf die Spannglieder mit Gl. (1) berechnet. Die Ergebnisse der Ermüdungsversuche sind in Bild 4 in Abhängigkeit der berechneten Umlenkbelastungen dargestellt. Anhand dieser Auswertung konnten entsprechende Wöhlerlinien unter Berücksichtigung der Umlenkbelastungen abgeleitet und ein Nachweiskonzept für die Ermüdung von umgelenkten Spanngliedern im nachträglichen Verbund vorgeschlagen werden.

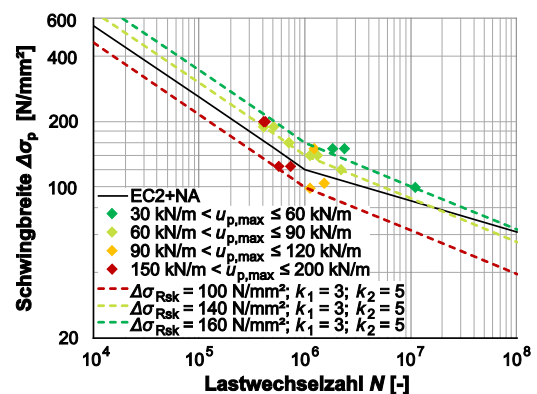


Bild 4: Umlenkbelastungen der Ermüdungsversuche an Spannbetonträgern /1/

4. Literatur

- /1/ Remitz, J.; Empelmann, M.: Einfluss von Umlenkbelastungen auf die Ermüdung von Spanngliedern im nachträglichen Verbund. In: Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018), Heft 8, S. 579-588.
- /2/ Empelmann, M.; Remitz, J.: Ermüdungsverhalten von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund. In: Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 11, S. 760-770.
- /3/ Remitz, J.; Empelmann, M.: Ermüdungsfestigkeit von eingebauten Spanngliedern - Versuche an Spannbetonträgern. In: Bauingenieur 90 (2015), Heft 12, S. 553-561.
- /4/ DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Deutsche Fassung inklusive des nationalen Anhangs für Deutschland (2012), 2011.