

Erarbeitung von Oberflächenzustandsklassen für das Ermüdungsverhalten von Betonstählen

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 62 (2021)

Autoren: Stefan Rapp; PD Dr.-Ing. habil. Kai Osterminski

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

1 Einleitung

Mit der Einführung gerippter Betonstähle konnte eine Abnahme der Ermüdungsfestigkeit um rund 60% beobachtet werden [1]. Die Ursache dafür liegt in den auftretenden Kerbspannungen an den Rippenfußpunkten. Dort findet eine Umlenkung und damit Konzentration der Spannungstrajektorien statt. Diese können deutlich über die Nennspannungen anwachsen und den Betonstahl lokal stärker beanspruchen. In den darauffolgenden Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen zum Einfluss der Rippengeometrie durchgeführt. Dabei zeigte der Ausrundungsradius am Rippenfuß den größten Einfluss [2].

2 Theoretischer Hintergrund

Neben den Geometrieparametern der Rippung kann das Ermüdungsverhalten ebenfalls durch unplanmäßige Kerben beeinflusst werden. Diese können z.B. während des Richtprozesses, des Transportes oder der Lagerung im Freien entstehen. Untersuchungen von [3] ergaben, dass bei einem Ringmaterial mit vier Querrippenreihen der Ermüdungsbruch bevorzugt am Ort der Einbindung der Querrippen in die Längsrippe ausging. An diesen Stellen waren ebenfalls die größten Beschädigungen aus dem Richtprozess erkennbar. Quantitative Untersuchungen ergaben, dass Betonstähle mit einer „ungünstigen Qualität“ eine um 80% niedrigere Lastwechselzahl erreichen als Betonstähle mit einer „guten Qualität“ [4]. Bezogen auf die Schwingweite entspricht dies in etwa einem Faktor von 1,4 [4].

3 Prüfstrategie

Entsprechend den Erkenntnissen der Kerbspannungslehre und den Ergebnissen aus [3] und [4] wurden Oberflächenzustandsklassen (OKL) entwickelt. Diese sollten durch eine augenscheinliche Untersuchung der Oberfläche, leicht zu erkennen sein. Es wurden folgende „Beschädigungen“ berücksichtigt:

1. „Fehlerfreie“/planmäßige Geometrie
2. Längsriffe und -risse
3. kleine, sich wiederholende Verletzungen der Rippenköpfe

4. Werkkennzeichen
5. oberflächliche Korrosion
6. Oberflächenverletzung im Rippental
7. geometrische Abweichung der Rippenköpfe
8. Verletzungen Rippental, -fuß, -auslauf oder -zusammenlauf
9. geometrische Abweichung Rippental, -fuß, -auslauf oder -zusammenlauf
10. Risse in Querrichtung

Diese Beschädigungsnummern 1) - 10) wurden anschließend in vier Oberflächenzustandsklassen zusammengefasst (vgl. Tabelle 1). In den Zustandsklassen 1 und 2 wurde zusätzlich eine Unterscheidung hinsichtlich einseitigem und beidseitigem Auftreten vorgenommen. Dadurch sollte eine stochastische Auftretenswahrscheinlichkeit mitberücksichtigt werden. Die Beschädigungen in Kategorie 3 befinden sich ausschließlich an kerbspannungsempfindlichen Stellen und werden daher nicht weiter unterschieden.

Tabelle 1: Zuordnung Oberflächenzustandsklasse und Beschädigungsnummer

Oberflächenzustandsklasse		Beschädigungsnummer
Einseitig	Beidseitig	
0		1
1a	1b	2 - 5
2a	2b	6 - 7
3		8 - 10

Für die Untersuchungen wurden insgesamt 198 Betonstähle verwendet. Davon waren 160 Probekörper Stab- und 38 Ringmaterial. Es wurden vier verschiedene Durchmesser aus zehn unterschiedlichen Werken bzw. Weiterverarbeitern verwendet (10, 12, 16 und 28 mm). Nach einer augenscheinlichen Untersuchung der Oberfläche wurde die Probe in die entsprechende Oberflächenzustandsklasse eingeordnet und anschlie-

ßend dynamisch beansprucht. Die Versuche fanden bei einer Oberspannung von 300 N/mm² in Hochfrequenzpulsatoren statt. Die Schwingweite variierte dabei zwischen 135 und 275 N/mm².

4 Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt eine Betonstahlprobe mit Durchmesser 16 mm vom Ring der Oberflächenzustandsklasse 3. Es ist deutlich eine geometrische Abweichung der Rippenköpfe zu erkennen, die sich ebenfalls auf das Rippental und den Auslauf in die Längsrippe auswirkt.



Abbildung 1: Betonstahl der Oberflächenzustandsklasse 3 (Ringmaterial, Durchmesser 16 mm)

In Tabelle 2 wurde die Häufigkeit eines Versagensmodus in Abhängigkeit der Oberflächenzustandsklasse angegeben (ohne Einspannbrüche). Mit zunehmender OKL konnte eine Abnahme der Durchläuferhäufigkeit beobachtet werden. Die hohe Überlebenswahrscheinlichkeit der OKL's 2b und 3 ist auf die vergleichsweise geringen Schwingweiten von 135 und 150 N/mm² zurückzuführen. Eine schwingweitenbezogene Auswertung konnte aufgrund der notwendigen Datenbasis nicht durchgeführt werden. Mit zunehmender Oberflächenzustandsklasse konnte ebenfalls eine Zunahme der prozessbedingten Versagensfälle beobachtet werden. Diese traten alle unterhalb den Anforderungen aus der Prüfnorm [5] auf.

Tabelle 2: Auftretenswahrscheinlichkeit eines Versagensmodi in Abhängigkeit der Oberflächenzustandsklasse für Betonstähle mit Durchmesser 16 mm (DL: Durchläufer bei 10 Mio. Lastwechsel, g. Br.: gültiger Bruch infolge der Rippengeometrie, prozess. Br.: Versagen an einer prozessbedingten Kerbe)

OKL		DL	g. Br.	prozess Br.
0		100		
1	a	45	55	
	b	80	20	
2	a	29	57	14
	b	55	18	27
3		75		25

Ein prozessbezogenes Versagen konnte fast ausschließlich an Richtschäden bei Einbindung der Querrippen in die Längsrippe beobachtet werden (vgl. Abbildung 1). Für die übrigen Durchmesserbereich reichte die vorhandene Datenbasis nicht aus, um statistisch belegbare Ergebnisse zu erzielen.

5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich bei Proben mit Durchmesser 16 mm Tendenzen hinsichtlich Oberflächenzustandsklasse und Ermüdungsverhalten ableiten lassen. Allerdings sollte diese Auswertung noch schwingweitenbezogen durchgeführt werden. Für eine fundierte und damit statistische belegbare Auswertung sind jedoch deutlich mehr Untersuchungen notwendig.

6 Danksagung

Die Autoren danken dem Institut für Stahlbetonbewehrung e.V. für die Förderung des Projektes „Erarbeitung von Oberflächenzustandsklassen für das Ermüdungsverhalten von Betonstählen“. Die Versuche wurden im Rahmen der Forschungsprojekte „WinConFat - Ermüdungsverhalten von hochzyklisch beanspruchten Betonstählen im WEA-Einsatz“ (FKZ: 0324016F) sowie „Gefüge- und eigenspannungskontrolliertes Ermüdungsverhalten von geripptem Betonstabstahl“ durchgeführt. Dem BMWi und der DFG sei an dieser Stelle für die Förderung und dem Projektträger Jülich für die Unterstützung gedankt.

7 Literatur

- [1] Martin, H.; Schießl, P.: Untersuchungen zur Dauerschwingfestigkeit von dispersionsgehärteten Betonrippenstählen BSt 50/55 mit III U- und IV U-Profilierung. Institut für Betonstahl und Stahlbetonbau e. V., Bericht Nr. 18574, 1974
- [2] Jhamb, I. C.: Fatigue of reinforcing bars [Dissertation]. University of Alberta, Edmonton, Kanada, 1972
- [3] Rehm, G.: Beitrag zum Thema Dauerschwingfestigkeit von Betonstahl BSt 500 nach DIN 488 und 1045 – Eine Bewertung von Versuchsergebnissen und Einflussgrößen, Prüfstelle für Betonstahl, 2010
- [4] Wilhelm, H.: Beitrag zum Thema Dauerschwingfestigkeit von Betonstahl BSt 500 nach DIN 488 und 1045 – Untersuchung zum Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf die statistische Auswertung von Versuchsergebnissen, 2011
- [5] DIN 488-1:2009-08: Betonstahl – Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung. Beuth Verlag, 2009