

Untersuchungen zum Einfluss des Richtprozesses auf das Ermüdungsverhalten von Betonstahl in Ringen

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 65 (2022)

Autoren: Tjark Rudolf, Stefan Rapp

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

1 Einleitung

Die Verwendung von Betonstahl in Ringen hat sich aufgrund seiner Kompaktheit im Lieferzustand im Bauwesen etabliert. Damit das Material eingebaut werden kann, muss es zunächst durch den sogenannten Richtprozess begradigt werden, wobei es zu starken mechanischen Beanspruchungen der Probekörper kommt. In einer Bachelorarbeit wurden die beiden wesentlichen Richtverfahren mitsamt ihrem Einfluss auf das Ermüdungsverhalten zunächst oberflächlich und im Anschluss mittels uniaxialer Dauerschwingversuche untersucht.

2 Theoretischer Hintergrund

Das Ermüdungsverhalten von Betonstahl setzt sich aus einer Reihe unterschiedlicher Faktoren werkstoffseitiger, konstruktiver, prüftechnischer sowie korrosionsbedingter Natur zusammen [1]. Den bedeutendsten Einfluss besitzt dabei die Rippengeometrie der Betonstähle, welche durch ihre Querschnittsänderungen, insbesondere am Rippenfuß zu einer ungleichmäßigen Spannungsverteilung führt [1, 2]. Durch diesen Effekt wird die Entstehung von Spannungsspitzen und Mikrorissen in diesen Bereichen bei einer zyklischen Beanspruchung begünstigt. [3].

Für den industriellen Richtprozess von Betonstahl in Ringen (Coils) sind zwei wesentliche Richtmethoden von Bedeutung, das Rollrichtverfahren und das Rotorrichtverfahren. Beim Rollrichtverfahren wird das auf dem Coil gewickelte Material durch mehrere versetzt angeordnete Rollenpaare gezogen [4]. Nachteil dieses Verfahrens ist die geringere Geradlinigkeit gegenüber dem Rotorrichtverfahren. Der Richtprozess beim Rotorrichten erfolgt über Richtdüsen(-rollen), welche versetzt in der Ebene angeordnet sind und unter gleichzeitiger Rotation das Material umlaufend richten [4]. Aufgrund der immergleichen Kontaktfläche bei diesem Verfahren und bei zunehmender Abnutzung der Richtwerkzeuge kommt es hierbei zu einer sich ausbildenden Mulde in den Querrippenköpfen des Richtgutes gegen Ende der Standzeit [4].

Für eine Kategorisierung aufgrund oberflächen-seitigen Verletzungen der Rippengeometrie

wurde aufbauend auf den Ergebnissen von [5] eine Einteilung in sogenannte Oberflächenzustandsklassen (OKL) vorgenommen, wobei die Qualität des Probekörpers mit steigender Oberflächenzustandsklasse abnimmt.

3 Methodik

In einem ersten Schritt erfolgte die Kategorisierung des Probensatzes, bei welcher es sich um Betonstahl B500B mit einem Durchmesser von 16 mm handelte. Die Gesamtkapazität belief sich auf 40 Stück, welche sich zu jeweils zehn roll- und zehn rotorgerichteten Probekörpern aufteilten. Bei den 20 verbliebenen Prüfkörpern handelte es sich um das noch ungerichtete Ringmaterial, welches im Anschluss eigenständig mittels einer pneumatischen Biegenmaschine händisch gerichtet wurde. In einem nächsten Schritt erfolgte die Einteilung der Probekörper in Abhängigkeit ihrer Oberflächenqualität in Oberflächenzustandsklassen. Im Anschluss wurde der Einspannbereich mittels Sandstrahlen, aufbauend auf den Ergebnissen von [6] vorbehandelt. Dieser setzt sich pro Seite aus der Länge der einspannenden Keile (70 mm) sowie der Länge des doppelten Durchmessers $2d$ (2·16 mm) zusammen. Weitere Untersuchungen seitens der Qualität der Rippengeometrie erfolgten durch das Laser-Linien-Scan System sowie durch Mikroskopaufnahmen. Hierbei erfolgte zunächst eine, gegensätzlich des Uhrzeigersinns verlaufende Nummerierung der einzelnen Längs- und Querrippenreihen. Mittels Winkelbeziehung konnten die $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, sowie $\frac{3}{4}$ Punkte der Querrippenreihen ermittelt werden und anhand einer Auswertungssoftware ein zweidimensionales Profil erstellt werden. In einem finalen Schritt erfolgte die Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit durch die Dauerschwingversuche. Hierbei wurde der Probensatz bei einer konstanten Oberspannung $\sigma_o = 300 \text{ N/mm}^2$, sowie einer Schwingweite von $\Delta\sigma = 175 \text{ N/mm}^2$ bzw. $\Delta\sigma = 200 \text{ N/mm}^2$ einer sinusförmigen Schwingbeanspruchung ausgesetzt. Das Abbruchkriterium betrug dabei $N = 2 \cdot 10^6$ Lastwechsel, bei welcher der Versuch beendet wurde. Unterschieden wurden die Prüfkörper nach Versagensart in den Kategorien „Durchläufer“ (DL), „Gültiger Bruch“ (g. Br.) sowie „Einspannbruch“ (ESB).

4 Ergebnisse

Zunächst erfolgte die Darstellung der optischen Qualität des Probensatzes aus den Oberflächenzustandsklassen (Tabelle 1).

OKL		Anzahl Probekörper	
1a	1b	2x	20x
2a	2b	2x	6x
3		10x	

Tabelle 1: Auswertung der Probekörper nach Oberflächenzustandsklassen

Ein Zusammenhang bezüglich der Oberflächenzustandsklasse und dem Richtprozess konnte dabei nicht festgestellt werden. Jedoch konnte eine für den Rotorrichtprozess typische Beschädigung der Rippengeometrie ausgemacht werden. Diese Annahme konnte anhand der Auswertung des Laser-Linien-Scans (Abbildung 1) sowie durch Belege aus der Literatur [4] bestätigt werden.

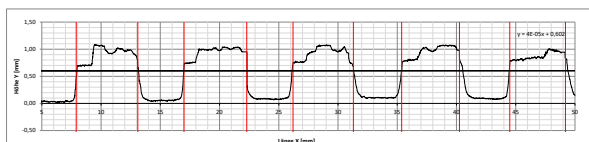


Abbildung 1: Profil eines rotorgerichteten Probekörpers mit geometrischer Verformung der Querrippenreihe

Die Auswertung der Dauerschwingergebnisse erfolgte entsprechend ihrer Richtungsart und der aufgetragenen Schwingweite. Die Ergebnisse zeigten dabei, dass zwischen den maschinengerichteten Probekörpern keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der erreichten Lastwechsel auszumachen waren. Das handgerichtete Material erreichte mit am seltensten die geforderte Zielastwechselzahl (50% der Probekörper) und wies zudem eine um 26% erhöhte Streuung der Messergebnisse im Vergleich zu den maschinengerichteten Probekörpern auf (Tabelle 2). Als Ursache dafür wurde auf die erhöhte Außermittigkeit, welche auf den Handrichtprozess zurückzuführen ist, geschlossen.

	DL	g. Br.	ESB
rollgerichtet	6x	4x	0
rotorge- richtet	7x	3x	0
handge- richtet	10x	8x	2x

Tabelle 2: Ergebnisse aus den Dauerschwingversuchen

Eine Zusammenführung der Ergebnisse aus Oberflächenzustandsklassen, Laser-Linien-Scan System sowie den Dauerschwingergebnissen ergab, dass kein Zusammenhang zwischen der erreichten Lastwechselzahl sowie der Oberflächenzustandsklasse ausgemacht werden konnte. Mit 54% Durchläufern erreichen die Probekörper mit der vermeintlich besten Qualität (OKL 1) seltener das Abbruchkriterium als Proben mit OKL 2 (63 %) sowie OKL 3 (60%).

5 Zusammenfassung

Signifikante Unterschiede zwischen dem maschinengerichteten Material waren in Bezug auf das Ermüdungsverhalten nicht auszumachen. Das handgerichtete Probenmaterial versagte allerdings tendenziell öfter, ursächlich hierfür zeigt sich die geringere Geradheit, sowie erhöhte Verdrehung, welche aus dem Handrichtprozess resultiert

Eine abschließende Aussage bezüglich des Einflusses des Richtprozesses auf das Ermüdungsverhalten ist aufgrund der stark begrenzten Probenkapazität nicht zu treffen, sodass eine Versuchsreihe mit deutlich gesteigerter Menge an Probekörpern notwendig ist.

6 Literatur

- [1] Weirich, T.: „Ermüdungsverhalten des Betonstahls unter Berücksichtigung möglicher Korrosionseinflüsse“, Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, 2013.
- [2] Jhamb, I.C., MacGregor, J.G.: „Fatigue of Reinforcing Bars“, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1972.
- [3] Fehlmann, P.: „Zur Ermüdung von Stahlbetonbrücken“, ETH ZÜRICH, 2012.
- [4] Brenk, J.: „Rotorrichten von Betonstahl BSt 500 WR“.
- [5] Rappl S., Osterminski, K.: „Erarbeitung von Oberflächenzustandsklassen für das Ermüdungsverhalten von Betonstählen“, Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung, 2021.
- [6] Eick, M.-C.: „Untersuchungen verschiedener Verfahren zur Verbesserung des Verhaltens im Einspannbereich bei uniaxialen Dauerschwingversuchen“, Technische Universität München, Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung, 2021