

# Untersuchungen verschiedener Verfahren zur Verbesserung des Verhaltens im Einspannbereich bei uniaxialen Dauerschwingversuchen

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 63 (2021)

Autoren: Marius-Christian Eick, Stefan Rapp

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

## 1 Einleitung

Für die Untersuchung ihrer dynamischen Widerstandsfähigkeit (Ermüdungsfestigkeit) werden Beton- und Spannstähle uniaxialen Dauerschwingversuchen unterzogen [1]. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde die Wirksamkeit zweier Bearbeitungsverfahren der Bewehrungsenden untersucht, um auftretende Einspannbrüche bei jenem Prüfverfahren zu verhindern.

## 2 Theoretischer Hintergrund

Bei Dauerschwingversuchen an nicht einbetonierten Bewehrungskörpern kommt es durch die Kombination von Ermüdungsbeanspruchung und notwendigem Spanndruck zu einem mehraxialen Spannungszustand und damit zu vermehrten Brüchen innerhalb der Einspannbereiche. Für die Bewehrung selbst ist ein solch vorzeitiges Versagen jedoch nicht repräsentativ [2]. Da Bewehrungsstähle im unbehandelten Zustand zu prüfen sind, ist es nicht zulässig, klassisch verengte Proben herzustellen, um ein Versagen innerhalb der freien Länge zu sichern [2]. Folglich besteht lediglich die Möglichkeit, die Bewehrungsenden oder Einspannvorrichtung entsprechend zu bearbeiten. In der Vergangenheit wurde dazu bereits eine Vielzahl von Verfahren entwickelt. Zum Beispiel wurden bei Rocha et al. [3] das Kugelstrahlen der Bewehrungsenden und Entfernen der Rippung für eine gleichmäßigere Krafteinleitung im Einspannbereich (Abbildung 1) oder ein Einstellen der Bewehrungsenden in Stahlhülsen bei Heeke [4] untersucht.



Abbildung 1: Kugelgestrahlter Einspannbereich [3]

## 3 Methodik

Als erstes Verbesserungsverfahren wurde die Möglichkeit des Sandstrahlens zur Vermeidung von Einspannbrüchen untersucht. Hierbei wurde mithilfe von Druckluft und einem abrasiven Gra-

nulat (metallischer Hartguss „kantig“ der Firma Wheelabrator Korndurchmesser  $d = 300\text{--}600\ \mu\text{m}$ ) die Stahloberfläche im Einspannbereich gereinigt und abgetragen. Dies hatte primär das Ziel, den Abrundungsradius am Fußpunkt der Rippen zu vergrößern sowie das Verhältnis von Abrundungsradius  $r$  zu Rippenhöhe  $h$  zu erhöhen, um dort herrschende Kerbspannungen zu verringern. Als zweites Verbesserungsverfahren wurde das Eingießen der Bewehrungsenden in Stahlhülsen getestet. Die Hülse und der entsprechende Bewehrungsabschnitt mussten ebenfalls sandgestrahlt werden, um einen möglichst guten Verbund zwischen den Komponenten sicherzustellen. Der verbleibende Zwischenraum wurde anschließend mit einem Epoxidharz-Mörtel („FIS EM Plus 390 S“ der Firma fischer) gefüllt. Voruntersuchungen sollten zeigen, wie sich die beiden beeinflussbaren Parameter von Strahldauer und Abstand auf die Oberfläche des Betonstahls auswirken. Anhand dieser Ergebnisse sollte ein Bearbeitungsablauf entwickelt werden, um die Ermüdungsfestigkeit im Einspannbereich zu verbessern. Die Veränderungen des Rippenprofils infolge des Sandstrahlens unterschiedlicher Intensität wurde mittels Laserlinienscan [5] untersucht. Für die Bestimmung von  $r$  und  $h$  wurden die Bewehrungsproben entlang einer vorher festgelegten Linie vom Laser abgetastet. Daraus konnte ein entsprechendes Rippenprofil erzeugt und durch Einlegen von Kreisen die Abrundungsradien  $r$  an den Rippenfußpunkten bestimmt werden (Abbildung 2). Die Rippenhöhen  $h$  wurden automatisch vom verwendeten Programm bestimmt. Die insgesamt durchgeführten 40 Dauerschwingversuche an gerichtetem Ringmaterial B500B ( $d = 12\ \text{mm}$ ) erfolgten bei  $300\ \text{N/mm}^2$  Oberspannung und Spannungsschwingbreiten von 175 oder  $200\ \text{N/mm}^2$ . Je Versuchsserie wurden 10 Bewehrungsproben getestet und davon jeweils 5 Stähle pro Schwingbreite. Das Abbruchkriterium für Durchläufer wurde der Norm entsprechend zu 2 Mio. Lastwechseln gewählt. Das effektivste Verbesserungsverfahren, welches am wenigsten Einspannbrüche verursachte, wurde in einer weiteren Versuchsserie mit einer erhöhten Prüffre-

quenz von etwa 100 Hz (zu ca. 85 Hz) getestet. Dies hatte das Ziel, eine mögliche Reduzierung der Versuchsdauer zu untersuchen.

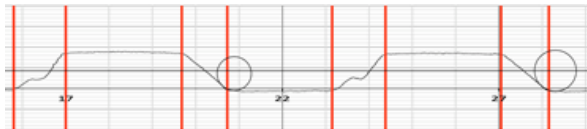


Abbildung 2: Mit Laserscan erstelltes Rippenprofil inklusive eingelegter Kreise – Referenzprobe

## 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Laserlinienscans zeigten, dass mit zunehmendem Materialabtrag der  $r/h$ -Wert günstig beeinflusst werden kann. So nahm das berechnete Verhältnis mit längerer Strahldauer und geringerem Abstand zu (Abbildung 3). Die unabhängig von der Höhe  $h$  betrachteten Ausrundungsradien  $r$  stützen dieses Bild.

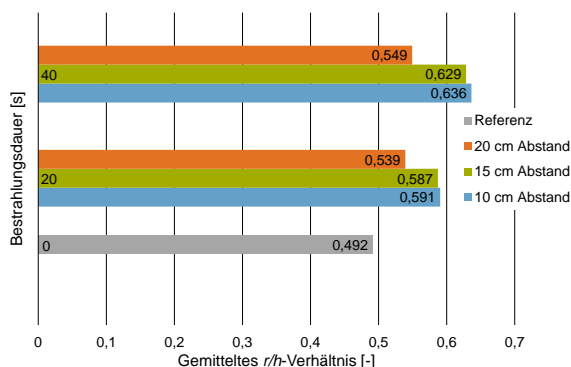


Abbildung 3: Gemitteltetes  $r/h$ -Verhältnis der (sandgestrahlten) Querrippen je Probekörper

In der Literatur wird der Ausrundungsradius  $r$  am Rippenfuß bzw. das  $r/h$ -Verhältnis als maßgebend für die Dauerschwingfestigkeit von Bewehrungsstahl betrachtet. Ein größerer Wert wird für günstig erachtet [6]. Folglich wurde für die sandgestrahlten Proben die Parameterkombination von 40 s und 10 cm gewählt. Bei zehn Dauerschwingversuchen an unbearbeiteten Referenzversuchen traten insgesamt 13 *Einspannbrüche* auf, wobei ungültig gebrochene Proben nach Möglichkeit „nachgespannt“ wurden. Dies bedeutet, dass Proben nach einem Einspannbruch mit kürzerer Probenlänge erneut eingebaut und weiter geprüft wurden. Bei allen 20 bearbeiteten Bewehrungsproben konnte *kein einziger Einspannbruch* beobachtet werden. Es trat weder ein Versagen innerhalb der Einspannvorrichtung noch im Abstand des zweifachen Durchmessers von der Einspannung auf. Aufgrund der leichteren sowie schnelleren Herstellbarkeit wurde das Sandstrahlen für das geeignetere Verfahren er-

achtet und die zusätzliche Versuchsreihe mit einer um 15 Hz erhöhten Prüffrequenz getestet. Diese Frequenz-Erhöhung bedeutet im Falle eines Durchläufers eine mögliche Zeitersparnis von fast einer Stunde. Erneut trat *kein Einspannbruch* auf, wodurch die Wirksamkeit des Sandstrahlverfahrens unterstrichen wurde.

## 5 Zusammenfassung

Sowohl durch das Eingießen in Hülsen als auch durch das Sandstrahlen der Bewehrungsenden konnte die Anzahl an Einspannbrüchen auf null reduziert werden. Durch Versuche an sandgestrahlten Proben mit einer erhöhten Prüffrequenz war es möglich, die Versuchsdauer zu verringern und dadurch die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Untersuchungen mithilfe Laserlinienscans haben gezeigt, dass der Ausrundungsradius  $r$  am Rippenfuß bzw. das  $r/h$ -Verhältnis mit zunehmender Sandstrahlintensität vergrößert werden konnte. Die getesteten Parameterkombinationen von Strahldauer und Abstand stellen jedoch mit ziemlich großer Wahrscheinlichkeit noch keine optimale Kombination dar. So konnte gerade einmal etwas mehr als die Hälfte von dem als ideal betrachtetem Verhältniswert von  $r/h = 1,25$  [6] erreicht werden.

## 6 Literatur

- [1] Gehlen, C.; Kränkel, T.; Meng, B.; Osterminski, K.; Meyer, F.; Schröder, P.: *Baustoffe im Betonbau* in Handbuch für Bauingenieure, Zilch, K. et al. (eds). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019
- [2] Krasnowski, K.: *Concrete-reinforcing Steel Bars – Applications and Fatigue Tests* in Biuletyn Instytutu Spawalnictwa No. 1/2015. Testing of Materials Weldability and Welded Constructions Department, Instytut Spawalnictwa, 2015
- [3] Rocha, M.; Michel, S.; Brühwiler, E.; Nussbaumer, A.: *Very high cycle fatigue tests of quenched and self-tempered steel reinforcement bars* in Fatigue Behaviour of Steel Reinforcement Bars at Very High Number of Cycles (Dissertation), Rocha M. École Polytechnique Fédérale De Lausanne, 2014
- [4] Heeke, G.: *Untersuchungen zur Ermüdungsfestigkeit von Betonstahl und Spannstahl im Zeit- und Dauerfestigkeitsbereich mit sehr hohen Lastwechselzahlen*. Architekt und Ingenieur, Schriftenreihe Betonbau, Heft 9, Technische Universität Dortmund, 2016
- [5] Osterminski, K.; Gehlen, C.: *Development of a laser-based line scan measurement system for the surface characterization of reinforcing steel* in Materials and Testing 61(11), 2019
- [6] Jhamb, I. C.: *Fatigue of reinforcing bars* (Dissertation). Department of civil engineering, University of Alberta, 1972