

Kerbspannungsanalysen an Betonstabstählen mittels FE-Simulationen

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 59 (2021)

Autoren: Schwendner, Constantin; Rappl, Stefan; Straßer, Alexander

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

1 Einleitung

Querrippen auf einem Betonstabstahl gewährleisten den Verbund zwischen Stahl und Beton. In Dauerschwingversuchen sind vermehrt Ermüdungsbrüche ausgehend vom Rippenfußpunkt zu beobachten. Dies tritt infolge erhöhter Spannungen durch eine Kerbwirkung auf, da in diesen Bereichen eine Umlenkung der Spannungstrajektorien erfolgt.

Ziel dieser Arbeit war es, eine idealisierte Betonstahlgeometrie zu erzeugen und mit Hilfe von FE-Simulationen geeignete Übergangsbedingungen für Kerbspannungsanalysen an den Deckflächen zu finden.

2 Theoretischer Hintergrund

Einflussfaktoren auf das Ermüdungsverhalten:

Der Verbund zwischen Betonstahl und Beton wird durch die Querrippen des Stahls sichergestellt. Durch Spannungsumlenkungen am Rippenfuß entstehen jedoch Kerbspannungen, die sich negativ auf die Dauerschwingfestigkeit auswirken. Dabei beeinflusst die Rippengeometrie die Höhe der Spannungsspitzen signifikant. Laut Jhamb [1] und Untersuchungen von Schießl [2] besitzen folgende Rippenparameter maßgebenden Einfluss auf das Ermüdungsverhalten (Definitionen nach DIN 488-2 [3]):

- Rippenhöhe a
- Rippenkopfbreite b_k
- Flankenneigung α
- Ausrundungsradius r

Hohe und breite Rippen wirken sich negativ auf das Ermüdungsverhalten des Betonstahls aus, da sie höhere Kerbspannungen hervorrufen. Ebenso erhöhen sich die auftretenden Spannungen bei einem kleineren Flankenneigungswinkel, allerdings nur in geringem Maße. Der größte Einfluss auf Kerbspannungen kann bei einer Veränderung des Ausrundungsradius beobachtet werden. Durch ein kleineres r entsteht ein schärferer Übergang zwischen Kernquerschnitt und Rippenflanke und somit höhere Kerbspannungen.

Lagerungsbedingungen in FE-Simulationen:

Im Folgenden werden die Begriffsdefinitionen aus Ansys verwendet. Es werden lediglich die vier in dieser Arbeit verwendeten Lagerungsbedingungen vorgestellt.

Durch eine „Fixierte Lagerung“ wird eine Verformung in alle Raumrichtungen verhindert, eine „Reibungsfreie Lagerung“ verhindert hingegen lediglich Bewegungen senkrecht zur definierten Fläche. Durch eine „Verschiebung“ werden Relativverschiebungen auf die Geometrie aufgebracht. Es können dabei alle drei Raumrichtungen definiert bzw. auch frei verformbar ausgeführt werden. Die Deckflächen können bei einer „Externen Verschiebung“ elastisch oder starr ausgebildet werden. [4]

3 Simulationen

Für spätere Untersuchungen wurde ein Betonstabstahl durch ein idealisiertes Modell dargestellt. Das Modell ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

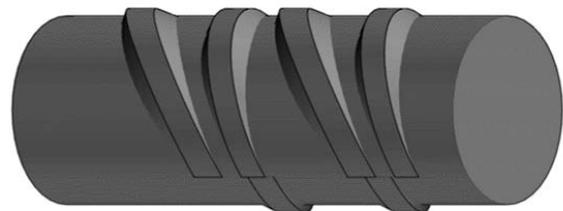


Abbildung 1: Idealisiertes Geometriemodell

Auf dieses wurde anschließend bei unterschiedlichen Lagerungsarten eine Verschiebung aufgebracht und die dadurch entstehenden Vergleichspannungen nach von Mises untersucht. Des Weiteren wurde der Schnitt durch das Modell und somit die Lage der lastbeaufschlagten Flächen variiert.

Bei einem Schnitt durch einen realen Betonstahl werden immer auch Querrippen angeschnitten. Deshalb fanden neben der in Abbildung 1 dargestellten Geometrie ebenfalls Untersuchungen an einem Modell mit einem Verlauf der Deckflächen durch die Rippen statt.

4 Ergebnisdarstellung und Diskussion

Die Untersuchungen konnten die Ergebnisse von Jhamb [1] und Schießl [2] bestätigen. Darüber hinaus konnte ein Einfluss des Rippenneigungswinkels β auf Kerbspannungen festgestellt werden.

In Abbildung 2 ist das Ergebnis einer Spannungsanalyse dargestellt. Da das Modell nur unterhalb der Nennstreckgrenze des Materials belastet wird, wurde vereinfacht von einem linear-elastischen Berechnungsansatz und einem Ebenbleiben der Querschnitte ausgegangen. Die roten Pfeile markieren dabei Spannungsmaxima, welche alle an den Rippenfußpunkten auftreten. Diese liegen bei ca. 650 N/mm^2 . Aufgrund einer „Fixierten Lagerung“ sowie einer „Verschiebung“ an den beiden Stabenden treten Zwangsspannungen an den Deckflächen auf, welche die Ergebnisse jedoch durch den großen Abstand zum untersuchten Bereich der Rippen nicht beeinflussen.

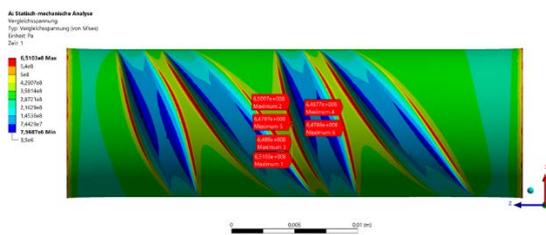


Abbildung 2: Vergleichsspannungen nach von Mises, langes Rippenmodell

Das Geometriemodell, welches Abbildung 3 zugrunde liegt, beschreibt einen realen Betonstahl genauer. Es besitzt keine verlängerten Enden, sondern die Deckflächen führen durch die Rippen. Um die oben bereits erwähnten Zwangsspannungen an den Stirnflächen zu vermeiden, wurde als Festhaltung eine „Reibungsfreie Lagerung“ auf der einen Deckfläche und zur Lastaufbringung eine „Externe Verschiebung“ auf der anderen Deckfläche gewählt. Dadurch wird eine Verschiebung in Stablängsrichtung verhindert, sodass keine Zwangsspannungen an den Deckflächen auftreten. So soll der für Auswertungen ungültige Randbereich aufgrund von Einflüssen aus der Lagerung verringert werden.

Durch die veränderten Lagerungsbedingungen und die durch die Rippen verlaufenden Deckflächen treten erhöhte Spannungen (Faktor 2,04) an der Schnittkante Ausrundung-Deckfläche auf. Dies erscheint jedoch aufgrund der unveränderten Geometrie nicht plausibel und wird daher auf Randeinflüsse zurückgeführt. Im Vergleich zu Abbildung 2 beschränken sich Randeinflüsse jedoch

nur auf den oben erwähnten Schnittbereich. Diese dürfen allerdings für eine Beurteilung der Kerbspannungen nicht herangezogen werden.

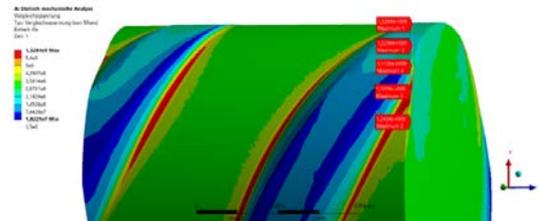


Abbildung 3: Vergleichsspannungen nach von Mises, verkürztes Rippenmodell

Daher wurde in einem nächsten Schritt eine Ausrundung, die keinen Schnitt mit einer Deckfläche besitzt, ausgewählt und die Kerbspannungen analysiert. Eine Auswertung dieser ergab, dass Maximalspannungen in gleicher Größenordnung (Faktor 0,97) auftreten, wie bei dem Modell mit verlängertem Stab.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vereinfachten Modell eines Betonstahlstabs konnten Kerbspannungsanalysen durchgeführt werden.

Durch die Untersuchungen kann für die FE-Simulationen von Betonstahlstäben eine „Reibungsfreie Lagerung“ als Festhaltung und eine Lastaufbringung mittels „Externer Verschiebung“ empfohlen werden, da sich Randeinflüsse lediglich auf die Schnittkanten der Deckflächen mit den Ausrundungen beschränken. Diese dürfen bei der Ergebnisauswertung nicht mitberücksichtigt werden. So liefert eine Spannungsanalyse gültige Ergebnisse lediglich in einem gewissen Abstand zu den Deckflächen. Für den genauen Betrag dieses Abstandes sind weitere Simulationen nötig.

6 Literatur

- [1] Jhamb, I.C.: Fatigue of reinforcing bars (Dissertation), University of Alberta, 1972
- [2] Schießl, P.: Theoretische Überlegungen zum Einfluß der Rippengeometrie auf die Dauerschwingfestigkeit von Betonstählen, Institut für Betonstahl- und Stahlbetonbau e.V., München, 1974
- [3] DIN 488-2:2009-08, Betonstahl – Betonstahlstahl; Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin
- [4] Gebhardt, C.: Praxisbuch FEM mit ANSYS Workbench, Hanser, München, 2018