

# Numerische Untersuchungen zum Einfluss der Geometrieparameter von Betonstabstählen auf die Entwicklung von Kerbspannungen

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 72 (2023)

Autoren: Anna Prommersberger, Stefan Rappl

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

## 1 Einleitung

Ermüdungsversagen entsteht infolge zyklischer Belastungen eines Bauteils, wobei die Last unterhalb der im statischen Zugversuch ermittelten Festigkeit liegt [1]. Infolge der Querrippengeometrie entstehen bei Betonstählen an den Fußpunkten Spannungsspitzen, sog. Kerbspannungen [2]. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde der Einfluss von ausgewählten Rippengeometrieparametern auf die Kerbspannungen mittels FE-Simulationen an idealisierten Probekörpergeometrien untersucht.

## 2 Theoretischer Hintergrund

An Querschnittsänderungen – z.B. am Rippenfuß eines Betonstahls – entstehen Spannungskonzentrationen [2]. Diese Kerbspannungen sind maßgebend für das Ermüdungsversagen [3]. Die Kerbspannungen können mittels des dimensionslosen Kerbspannungsfaktors  $k_T$  dargestellt werden, der das Verhältnis der maximalen Kerbspannung zur Nennspannung angibt [3].

Die Rippengeometrieparameter eines Betonstabstahls sind nach DIN 488-2 [4] definiert. Schießl [3] und Robl et al. [5] identifizieren folgende Parameter als relevante Einflussgrößen auf die Kerbspannungen (siehe Abb. 1 und Abb. 2):

- Ausrundungsradius  $r$
- Rippenhöhe  $a$
- Rippenkopfbreite  $b_k$
- Flankenneigungswinkel  $\alpha$
- Rippenneigungswinkel  $\beta$
- Rippenabstand  $c$

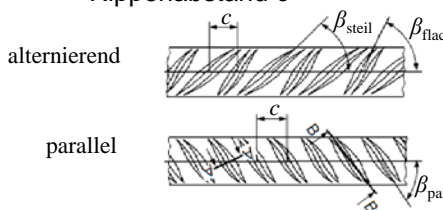


Abbildung 1: Betonstabstahlgeometrie in Anlehnung an [6]

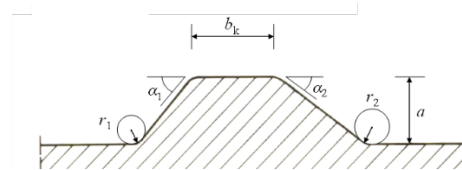


Abbildung 2: Rippengeometrie in Anlehnung an [7]

Untersuchungen an idealisierten Betonstabstahlgeometrien, welche auf Basis der DIN 488-1 beruhen, zeigen einen logarithmischen Einfluss auf die Kerbspannungen durch den Ausrundungsradius [5] und identifizieren ihn als maßgebende Einflussgröße [3]. Die Änderung der Rippenhöhe sowie der Rippenkopfbreite verursacht nur geringe lineare Veränderungen des  $k_T$ -Faktors [3, 5]. Der Einfluss des Flankenneigungswinkels ist ebenfalls linear [5]. Der Rippenneigungswinkel ändert den  $k_T$ -Faktor nur geringfügig [5]. Ein kleinerer Rippenabstand führt zu höheren Kerbspannungen [5].

Um den Einfluss der Parameter  $r$ ,  $b_k$ ,  $a$  und  $\alpha$  auf den Kerbspannungsfaktor zu quantifizieren, kann folgende empirisch entwickelte Formel von Schießl [3] verwendet werden:

$$k_T = 1 + (0,096 - 0,12 \cdot \ln r) \cdot \sqrt{(b_k + 2 \cdot a \cdot \cos^{-1} \alpha) \cdot (3 + \tan \alpha)}$$

## 3 Methodik

Zu Beginn wurde die Querrippengeometrie eines Betonstabstahls B500B mit 12 mm Nenndurchmesser anhand von Linienscans vermessen. Die Rippenparameter ( $r$ ,  $a$ ,  $b_k$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ ) wurden an fünf Querrippen der parallelen Seite und sechs Querrippen der alternierenden Seite bestimmt. Die Auswertung der einzelnen Parameter wurde für eine differenzierte Betrachtung nach Position – vor und nach der Rippe – getrennt.

Mithilfe einer Dominanzanalyse auf Grundlage der obigen Formel sowie einer Literatursuche wurden die maßgebenden Geometrieparameter auf die Kerbspannungsverteilung von Betonstabstählen festgelegt.

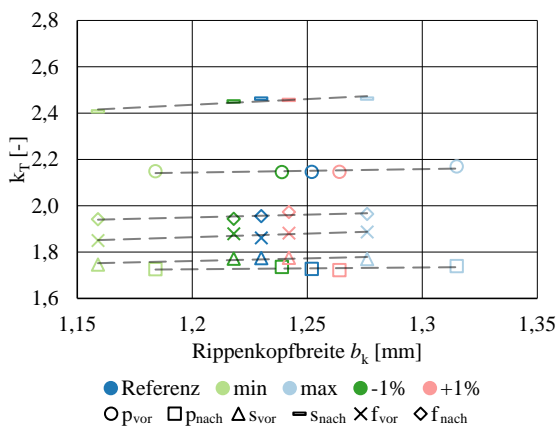
Insgesamt wurden pro untersuchtem Parameter vier vereinfachte Geometriemodelle in Auto-CAD 2022 erstellt sowie ein Referenzmodell

als Bezugspunkt. In ANSYS 2020 R1 wurden Kerbspannungsanalysen mit einer Nennspannung von  $300 \text{ N/mm}^2$ , was der Oberspannung in einem Dauerschwingersuch nach [4] entspricht, durchgeführt. Das Konvergenzkriterium wurde zu  $< 1\%$  vorgegeben. Zur Auswertung der Analyse wurde die erste Hauptspannung verwendet.

#### 4 Ergebnisse

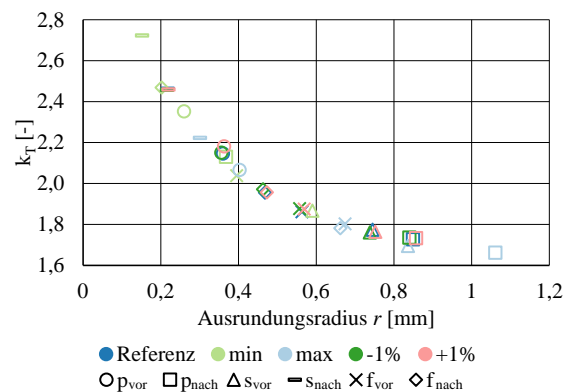
Die Dominanzanalyse ergab einen dominierenden Einfluss von  $r$  (40-57% in Abhängigkeit der Position) sowie eine untergeordnete, jedoch relevante Bedeutung von  $a$  und  $b_k$ . Basierend auf den Ergebnissen von Robl et al. [5] wurde der Parametersatz um den Querrippenabstand  $c$  ergänzt. Für die Modellierung wurden die Parametermittlerwerte für die Referenzprobe, die minimalen und maximalen gemessenen Größen und eine Abweichung von  $\pm 1\%$  vom Mittelwert gewählt.

Die Ergebnisse der Kerbspannungsanalyse von  $b_k$  zeigen bei Erhöhung der Rippenkopfbreite einen geringen linearen Anstieg von  $k_T$  (siehe Abb. 3). Die Regressionsgeraden der einzelnen Serien verlaufen parallel zueinander und zeigen im Mittel eine Steigung von 0,25. Dies stimmt qualitativ mit den Ergebnissen von Schießl [3] und Robl et al. [5] überein. Zudem kann eine Abhängigkeit hinsichtlich des Ausrundungsradius festgestellt werden. So sind die Regressionsgeraden hinsichtlich  $r$  angeordnet, der geringste Ausrundungsradius erzielt dabei das höchste  $k_T$ .



**Abbildung 3:** Einfluss von  $b_k$  auf  $k_T$  an verschiedenen Positionen (p: parallele Querrippe, s: steile alternierende Querrippe, f: flache alternierende Querrippe); Radien an Positionen in mm:  $p_{vor} = 0,360$ ;  $p_{nach} = 0,849$ ;  $s_{vor} = 0,745$ ;  $s_{nach} = 0,218$ ;  $f_{vor} = 0,563$ ;  $f_{nach} = 0,468$

In Abb. 4 ist die Kerbspannungsanalyse von  $r$  dargestellt. Mit abnehmendem Radius steigt die Kerbspannung logarithmisch an. Dabei zeigt sich ein annähernd deckungsgleicher Verlauf unabhängig von Rippentyp und -position. Die Ergebnisse bestätigen die Dominanz von  $r$  auf  $k_T$ .



**Abbildung 4:** Einfluss von  $r$  auf  $k_T$  an verschiedenen Positionen (p: parallele Querrippe, s: steile alternierende Querrippe, f: flache alternierende Querrippe)

#### 5 Zusammenfassung

Durch FE-Simulationen an vereinfachten Modellen wurde der Einfluss einzelner Rippengeometrieparameter auf die Kerbspannungen untersucht.

Der Ausrundungsradius ist der maßgebende Einflussfaktor. Die Ergebnisse von  $k_T$  zeigen dabei eine logarithmische Abhängigkeit von  $r$ . Die weiteren Geometrieparameter wie  $b_k$  zeigen nur eine untergeordnete Bedeutung.

#### 6 Literatur

- [1] Läßle, V.: Einführung in die Festigkeitslehre. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [2] Grünberg, J. (Ed.): Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach DIN 1045: Teile 1 bis 3 (Juli 2001) Erläuterungen und Anwendungen. 3. Aufl. Berlin: Springer Berlin, 2014.
- [3] Schießl, P.: Theoretische Überlegungen zum Einfluß der Rippengeometrie auf die Dauerschwingfestigkeit von Betonstählen. Institut für Betonstahl- und Stahlbetonbau e.V., München, 1974.
- [4] DIN 488-2:2009-08: Betonstahl – Betonstabstahl. Deutsches Institut für Normung, Berlin: Beuth Verlag, 2009.
- [5] Robl, T., Wölfle, C. H., Shahul Hameed, M. Z., Rappl, S., Kremaszky, C., Werner, E.: An Approach to Predict Geometrically and Thermo-Mechanically Induced Stress Concentrations in Ribbed Reinforcing Bars. Metals 12 (3), S. 411, 2022. doi: 10.3390/met12030411.
- [6] Weirich, T.: Ermüdungsverhalten des Betonstahls unter Berücksichtigung möglicher Korrosionseinflüsse (Dissertation). Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2013.
- [7] Rehm, G., Harre, W., Beul, W.: Schwingfestigkeitsverhalten von Betonstählen unter Wirklichkeitsnahen Beanspruchungs- und Umgebungsbedingungen. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 374, Berlin: Beuth-Verlag, 1986.