

Verbundmechanismen im Stahlbeton - Eine Literaturstudie zum Einfluss der Bewehrungsoberfläche auf das Verbundverhalten in Beton

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 74 (2023)

Autoren: Petar Antunovic, Stefan Rappl

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

1 Einleitung

Für die Anwendbarkeit im Bauwesen ist die Bewehrungsintegration unerlässlich. Eine mit dem Baufortschritt mitwachsende Methode bietet das Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM). Dieses additive Herstellungsverfahren basiert auf einem Lichtbogen-Schweißprozess, wobei das Produkt eine deutlich geringere Geometrie- und Oberflächengenauigkeit aufweist als herkömmliche Bewehrung. In einer vorherigen Abschlussarbeit wurde das Verbundverhalten von WAAM-Bewehrung untersucht. Es konnten Verbundspannungen in der Größenordnung herkömmlicher Betonstahlbewehrung beobachtet werden [1].

2 Theoretischer Hintergrund

Der Verbund zwischen Stahl und Beton ist die wesentliche Voraussetzung für die Funktionsweise der heutigen Stahlbetonbauweise. Die wirkenden Kräfte werden durch die verschiedenen Verbundmechanismen Haft-, Scher- und Reibverbund übertragen. Die drei Mechanismen sind abhängig von der Relativverschiebung der beiden Komponenten, was als Schlupf bezeichnet wird (siehe Abbildung 1). Die Kraftübertragung in der Kontaktfläche zwischen beiden Komponenten wird als Verbundspannung τ bezeichnet.

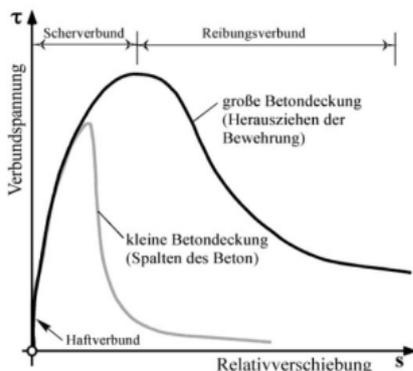


Abbildung 1: Verbundspannungs-Schlupf Diagramm für Betonstahl nach [2]

Die Haftung zwischen Stahl und Zementstein charakterisiert den Haftverbund, der vor allem durch chemische Adhäsion, Kapillarkräfte und Verzahnung der Stahloberfläche mit der Zementmatrix

(physikalische Adhäsion) erzielt wird. Der Haftverbund ist nur gering belastbar und wird bereits infolge kleinster Relativverschiebungen zerstört (vgl. Abbildung 1). Der Scherverbund wird nach dem Versagen des Haftverbunds aktiviert und gilt bei gerippten Stählen als die wirksamste Kraftübertragung zwischen Stahl und Beton. Die von den Rippen ausgeübten Scherkräfte breiten sich über die dazwischenliegenden Betonkonsolen in Form eines Druckkegels in den umgebenden Beton aus [2, 3]. Nach Überschreiten der maximalen Verbundspannung sind die Betonkonsolen abgeschert und die Bewehrung kann bei ausreichender Betondeckung aus dem umgebenden Beton herausgezogen werden. Der Reibverbund setzt sich somit aus einem Reibungsanteil, welcher zwischen Betonstahl und umgebenden Beton entsteht, sowie einem Anteil zwischen abgescherten Betonkonsolen und umgebenden Beton entsteht.

3 Ergebnisse

Die folgende Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit der auf die Betondruckfestigkeit bezogenen Verbundspannung von der Relativverschiebung für verschiedene bezogene Rippenflächen und Betonierlagen. Die bezogene Rippenfläche stellt das Verhältnis zwischen Normalprojektionsfläche der Querrippen zur Mantelscherfläche dar. Wie in Abbildung 2 gut zu erkennen, steigt mit zunehmender bezogener Rippenfläche die bezogene Verbundspannung, gleichzeitig nimmt die Relativverschiebung bei maximaler Verbundfestigkeit ab.

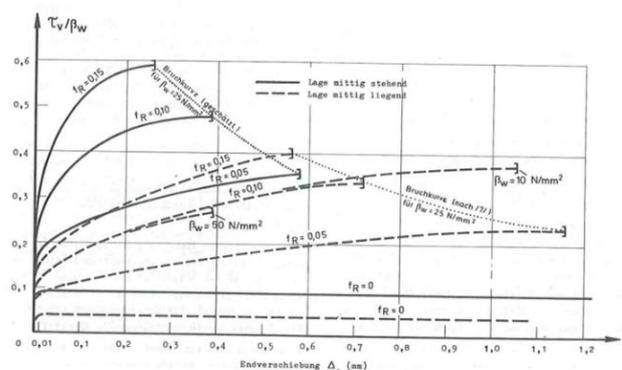


Abbildung 2: Abhängigkeit der bezogenen Verbundspannung von der Endverschiebung für verschiedene bezogene Rippenflächen und Betonierlagen und der daraus folgende Schlupf [4]

In [5] wurde der Einfluss der Rippengeometrie auf die Verbundtragfähigkeit sowohl an Pull-Out-Probenkörpern als auch an Balkenendverankerungen untersucht. In einer Versuchsreihe wurden die Rippenhöhe a und der Rippenabstand c variiert (siehe Abbildung 3).

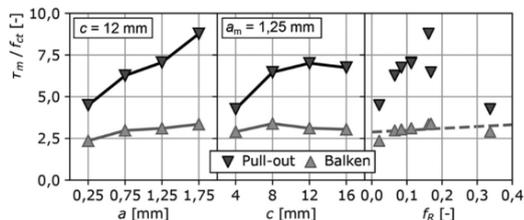


Abbildung 3: Einfluss der Rippenhöhe a und des Rippenabstands c auf die bezogene Verbundfestigkeit [5]

Dabei konnte bei Pull-Out-Versuchen mit abnehmender Rippenhöhe a und Rippenabstand c eine Abnahme der bezogenen Verbundspannung festgestellt werden. Dies wurde auf ein geringeres Volumen der Betonkonsolen zwischen den Querrippen zurückgeführt [5]. Die bezogenen Verbundspannungen bei Balkenendversuchen sind deutlich geringer und weisen die oben aufgeführten Tendenzen nicht auf.

Die folgende Abbildung 4 veranschaulicht den Unterschied der Oberflächenbeschaffenheit von Betonstabstahl (2 Querrippenreihen) und Betonstahl in Ringen (4 Querrippenreihen). Die Verbundspannung wird in Abhängigkeit der bezogenen Rippenfläche f_R und des Verhältnisses von Rippenkopfbreite b zu Rippenabstand c dargestellt.

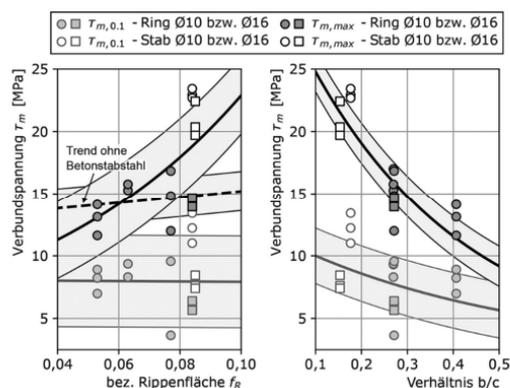


Abbildung 4: Maximale mittlere Verbundspannung $T_{m,max}$ und mittlere Verbundspannung $T_{m,0,1}$ bei einem Schlupf von 0,1 mm in Abhängigkeit von der bezogenen Rippenfläche f_R (links) und vom Verhältnis von Rippenbreite b zum Rippenabstand c (rechts) [6]

Es zeigte sich, dass bei Betonstahl in Ringen gegenüber Betonstabstahl bei vergleichbarem f_R eine deutlich kleinere maximale Verbundspannung $T_{m,max}$ gemessen wurde. Außerdem konnte

festgestellt werden, dass mit zunehmendem Verhältnis b/c die mittleren Verbundspannungen abnahmen. Dies wurde darauf zurückgeführt, dass das Volumen der Betonkonsolen und damit die Scherfläche zwischen den Querrippen und demzufolge auch der Scherwiderstand beim Herausziehen des Betonstahls abnahmen.

4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit von Bewehrungsstahl auf den Verbund analysiert. Dabei wurden die verschiedenen Phasen des Verbunds betrachtet. Mit zunehmender bezogenen Rippenfläche f_R konnte eine Zunahme der maximal aufnehmbaren Verbundspannungen bei gleichzeitiger Abnahme des dazugehörigen Schlupfwertes beobachtet werden. Durch eine Verringerung der lichten Weite zwischen den Querrippen (durch eine Zunahme der Querrippenbreite oder Verringerung des Rippenabstandes c) wurde eine Abnahme der Verbundspannungen festgestellt. Dies wurde auf das abnehmende Volumen der Betonkonsolen und der damit verringerten Scherfestigkeit zurückgeführt.

5 Literatur

[1] Tischner, K.: Verbundverhalten von mittels Wire and Arc Additive Manufacturing hergestellter Bewehrung – Untersuchungen zum Einfluss der Oberfläche, Bachelorarbeit, Technische Universität, 2022.
 [2] Rehm, G.: Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 138, 1961.
 [3] Marti, Peter; Alvarez, Manuel; Kaufmann, Walter; Sigrist, Viktor; Tragverhalten von Stahlbeton, ETH Zürich, 1999.
 [4] Martin, H.; Noakowski, P.: Verbundverhalten von Betonstählen, Untersuchung auf der Grundlage von Ausziehversuchen. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 319, 1981.
 [5] Losberg, A.; Olsson, P.-A.: Bond Failure of Deformed Reinforcing Bars Based on the Longitudinal Splitting Effect of the Bars. ACI Journal Proceedings, No. 1, pp. 5–18, 1976.
 [6] Fröse, J.; Fischer, O.: Einfluss der Rippengeometrie auf den Verbund von Betonstahl aus Ringen. Beton- und Stahlbetonbau 118, H. 7, S. 504–512, 2023.