

# Untersuchungen zur Bedeutung der ITZ auf das Verbundverhalten von Stahl in Beton

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 45 (2019)

Autoren: Rappl, Stefan; Kränkel, Thomas; Osterminski, Kai

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

## 1 Einleitung

Die Verbundwirkung zwischen Stahl und Beton gilt als eine wesentliche Grundvoraussetzung für die heutige Stahlbetonbauweise. Sie dient als Grundlage vieler normativer Nachweise (bspw. Verankerungslänge). Die Verbundkraftübertragung wird durch die drei Verbundmechanismen (Haft-, Scher- und Reibverbund) sichergestellt. Dem Scherverbund wird aufgrund der Verkeilung der Stahlrippen gegen den umgebenden Beton der größte Traganteil zugesprochen.

Die Kontaktzone zwischen Zementmatrix und Stahl bzw. Gesteinskorn wird Interfacial Transition Zone (ITZ) genannt. Untersuchungen ergaben, dass es sich dabei um eine Schwachstelle handelt. Diese ITZ konnte jedoch z.B. durch betontechnologische Maßnahmen beeinflusst werden [1].

Das Ziel dieser Arbeit war, Erkenntnisse über das Verbundverhalten zwischen Stahl und Beton an der ITZ zu erhalten. Auf der mikroskopischen Ebene wurde untersucht, inwiefern es sich bei der ITZ um eine Schwachstelle handelt. Dabei wurden ausgewählte Einflussfaktoren variiert (siehe unten). Gleichzeitig wurde auf der makroskopischen Ebene das Verbundverhalten von Stahl in Beton untersucht. Dadurch sollte ermittelt werden, inwieweit sich eine Optimierung der mikroskopischen ITZ (gleichbedeutend mit einer Verringerung der ITZ-Dicke) im Vergleich zum makroskopischen Scherverbund überhaupt feststellen lässt.

Untersuchte Einflussfaktoren Beton:

- Betonfestigkeit
- Betonzusammensetzung (Silikastaub)

Untersuchte Einflussfaktoren Stahl:

- Oberflächenrauheit
- Rund- und Betonstahl

## 2 Theoretischer Hintergrund

### Verbundverhalten

Die Kraftübertragung zwischen Stahl und Beton wird durch eine Schubspannung, die sog. Verbundspannung, sichergestellt. Diese ist abhängig von der Relativverschiebung (Schlupf) zwischen

den beiden Materialien. Es wird angenommen, dass der Haftverbund mit auftretenden Relativverschiebungen zerstört wird. Für glatte Rundstähle erfolgt die weitere Kraftübertragung ausschließlich durch den Reibverbund. Bei gerippten Betonstählen tritt zusätzlich eine Verkeilung der Rippen gegen den Beton auf (Scherverbund). [2]

### Interfacial Transition Zone

Die Entstehung der ITZ beruht zum größten Teil auf dem Wandeffekt (Anreicherung von feinen Partikeln an der Oberfläche) und dem Effekt des Mikroblutens (Anreicherung von Wasser an der Oberfläche). Die wesentlichen Eigenschaften der ITZ sind u.a. eine erhöhte Porosität oder eine geringe mechanische Festigkeit. [3]

## 3 Experimente

### Verbundverhalten

Auf der makroskopischen Ebene wurden Pull-Out Versuche nach DIN EN 10080 [4] durchgeführt.

### Interfacial Transition Zone

Die mikroskopische Ebene wurde sowohl mechanisch mittels Nanoindentation als auch chemisch durch eine Laser-Ablation untersucht. Dazu wurde ein Probekörperaufbau entwickelt, bei dem die ITZ unter vergleichbaren Bedingungen entstehen konnte, wie bei den Pull-Out Probekörpern. Außerdem konnte der erforderliche mechanische Eintrag bei der Probekörpervorbereitung auf ein Minimum reduziert werden (Schleifen und Polieren). Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die deutlich schwächere ITZ nicht beschädigt wurde.

## 4 Ergebnisdarstellung und Diskussion

### Verbundverhalten

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Probekörperserien mit und ohne Silikastaub verglichen. Gleichzeitig wurde bei diesen beiden Serien der Einfluss einer unterschiedlichen Oberflächenrauheit des Stahls untersucht. Die Betonfestigkeitsklasse wurde jedoch konstant gehalten.

In Abbildung 1 sind exemplarisch die Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen einer Serie im Anfangsbereich während eines Pull-Out Experiments dargestellt. In lila sind die  $\tau$ -s-Beziehungen für Betonstähle mit Walzhaut abgebildet, in blau Betonstähle mit aufgerauter Oberfläche (Bezeichnung: ...\_s). Betonstähle mit gleichem  $f_R$ -Wert sind in Abbildung 1 durch gleiche Symbole gekennzeichnet.

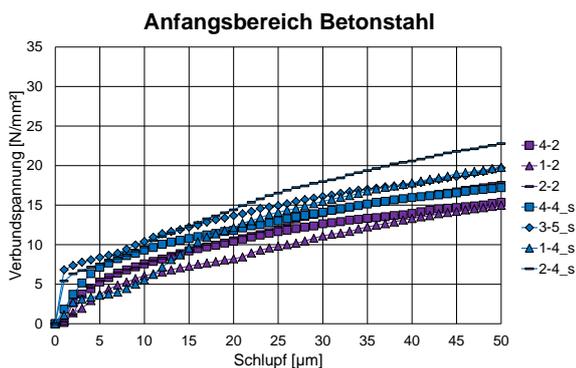


Abbildung 1: Anfangsbereich der  $\tau$ -s-Beziehung im Pull-Out Experiment der Serie C 70/85 ohne Silikastaub (lila: Betonstähle mit Walzhaut; blau: Betonstähle mit aufgerauter Oberfläche)

Folgende Ergebnisse konnten dabei beobachtet werden:

Durch ein Aufrauen der Oberfläche mittels Sandstrahlen konnte die Tragfähigkeit bei gleichem  $f_R$ -Wert erhöht werden (vgl. Abbildung 1). Des Weiteren ließ sich durch die Zugabe von Silikastaub die Tragfähigkeit ebenfalls verbessern (Serie: C 70/85 mit Silikastaub).

#### Interfacial Transition Zone

Im folgenden Abschnitt werden nur die Ergebnisse der Nanoindentation für die Serien des Hochfesten Betons mit und ohne Silikastaub beschrieben. In Abbildung 2 ist exemplarisch der Härteverlauf der Serie C 70/85 ohne Silikastaub an einer sandgestrahlten Oberfläche dargestellt. Die blaue Linie kennzeichnet dabei den Verlauf der Mittelwerte jedes einzelnen Messabstandes. Der Messabstand gibt die Entfernung zur Stahloberfläche in  $\mu\text{m}$  an.

Durch das Aufrauen der Stahloberfläche konnte im Mittel am ersten Messpunkt ein höherer Härtewert gemessen werden als beim Nachfolgenden (vgl. Abbildung 2). Durch die Zugabe von Silikastaub kann die Härte im Mittel gesteigert werden (Serie: C 70/85 mit Silikastaub). Es wurde jedoch ebenfalls eine Zunahme der Streuung der Messwerte beobachtet. Durch beide Maß-

nahmen konnte ebenso die Dicke der ITZ verringert werden.

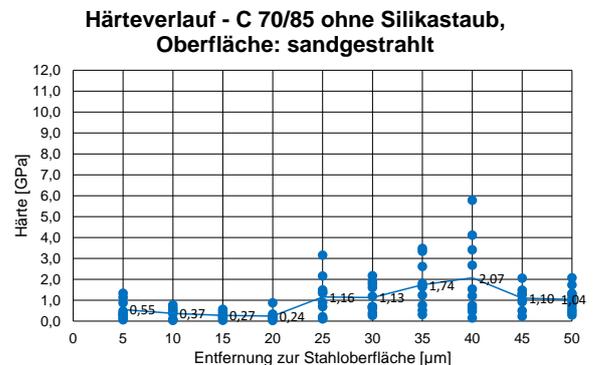


Abbildung 2: Diagramm - Härteverlauf - Serie: C 70/85 ohne Silikastaub, Oberfläche: sandgestrahl

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem gewählten Probekörperaufbau konnte die ITZ sowohl mittels Nanoindentation als auch durch eine Laser-Ablation untersucht werden. Aufgrund der auftretenden Streuung konnten keine wesentlichen Unterschiede bzgl. der Maximallast beim Pull-Out Versuch festgestellt werden. Durch ein Aufrauen bzw. durch Zugabe von Silikastaub konnte das Verbundverhalten bei sehr geringen Schlupfwerten verbessert werden. Des Weiteren konnte dadurch auch die Dicke der ITZ verringert werden. Diese Untersuchungen sind allerdings nur als orientierende Versuche anzusehen, da für eindeutige Aussagen weitere Experimente durchgeführt werden sollten.

## 6 Literatur

- [1] Duan, P., Shui, Z., Chen, W., Shen, C.: Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete, Construction and Building Materials, Vol. 44, 2013
- [2] Mayer, U.: Zum Einfluß der Oberflächengestalt von Rippenstählen auf das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen (Dissertation), Universität Stuttgart, 2001
- [3] Scrivener, K.L., Crumbie, A.K., Laugesen, P.: The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete, Interface Science 12, Kluwer Academic, 2004
- [4] DIN EN 10080:2005-08: Stahl für die Bewehrung von Beton – Schweißgeeigneter Betonstahl – Allgemeines; Deutsche Fassung EN 10080:2005, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, 2005