

Lektionsprogramm HTf-26

Patrick Pfändler

16. Dezember 2024

- 1 Carolabrücke
- 2 Betoninstandsetzung
 - Repetition
 - Beispiele aus eurer Praxis?
 - Korrosionsbeständige Bewehrung
- 3 Nächste Prüfung

Vorläufige Erkenntnisse zur Ursache und Hergang des ^{bau_schule} Teileinsturzes der Carolabrücke

Zwischenergebnisse

Die vorliegenden Zwischenergebnisse deuten darauf hin, dass wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion die Hauptursache für das Versagen ist. ^a

^awww.dresden.de

Spannungsrisskorrosion

Wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion (SCC) ist ein Schadensmechanismus, der unter spezifischen Voraussetzungen in hochbelasteten Metallen, wie vergütetem Spannstahl (u. a. auch Hennigsdorfer Spannstahl), auftreten kann. Dabei diffundiert Wasserstoff in die innere Gefügestruktur und führt dort unter anhaltender mechanischer Spannung zu Mikrorissen, die sich fortschreitend ausbreiten und schließlich zum spröden Versagen des Stahls führen können. Mangelnder Schutz vor Feuchtigkeit, korrosive Umgebung oder Verarbeitungsfehler begünstigen diesen Prozess. ^a

^awww.dresden.de

- [Link zum Video](#)

- Die **gesamte** Brücke wird für den Verkehr gesperrt und muss abgerissen werden.
- Wasserstrasse darf nur nach der Installation eines Schallemissionssystems wieder freigegeben werden.

- Die **gesamte** Brücke wird für den Verkehr gesperrt und muss abgerissen werden.
- Wasserstrasse darf nur nach der Installation eines Schallemissionssystems wieder freigegeben werden.

Verschulden

Eine umfassende Aktenlage belegt, dass das Bauwerk innerhalb der geltenden Regelwerke bewertet und betrieben wurde.

- **Haupteinsturzursache:** Wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion
 - **Konsequenz:** Einsturz nicht vorhersagbar, da keine ausgeprägte Rissbildung.
 - **Schuldfrage:** Gesetzliche Vorgaben eingehalten, keine Versäumnisse.
 - **Spannstahldefekte:** Über 68 Prozent der Spannglieder in der Fahrbahnplatte von Zug C waren an der Bruchstelle stark geschädigt.
 - **Massnahmen:** Abriss der **gesamten** Brücke, temporäre Installation eines Schallemissionssystems. Bau einer neuen Brücke.
 - **Tausalze:** Sogenannte chloridinduzierte Korrosion hat an Brückenzug C stattgefunden, war jedoch nicht ursächlich für den Einsturz.

Mögliche Schäden an Betonbauwerken: Beton

- Mechanisch
- Chemisch
- Physikalisch

Mögliche Schäden an Betonbauwerken: Bewehrung

- Karbonatisierung
- Korrosionsfördernde Verunreinigungen
- Streuströme

- Welche Schäden an Betonbauwerken habt ihr schon gesehen?
- Wie wurden diese behoben?
- Wie könnt ihr es in der Zukunft vermeiden resp. verbessern?

Korrosion

Korrosion ist aus technischer Sicht die Reaktion eines Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt. Korrosion kann zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines Bauteils oder Systems führen. Eine durch Lebewesen verursachte Korrosion wird als Biokorrosion bezeichnet. ^a

^aQuelle: Wikipedia

Lernziele

- Kenntnisse über die Möglichkeiten korrosionsbeständiger Bewehrungsmaterialien
 - Nicht-rostender Betonstahl
 - Faserbewehrung
 - Glasfaser-Bewehrung
 - Carbonfaser-Bewehrung
 - Basalfaser-Bewehrung

Frage

Was ist die Hauptursache für die Schädigung von Betonbauwerken?

- ☐ Chloride
- ☐ Karbonatisierung
- ☐ Frost-Tausalz
- ☐ Kombination aus anderen Schädigungsmechanismen

Frage

Was ist die Hauptursache für die Schädigung von Betonbauwerken?

- ☒ Chloride
- ☐ Karbonatisierung
- ☐ Frost-Tausalz
- ☐ Kombination aus anderen Schädigungsmechanismen

Frage

Welcher Stahl hatte im gezeigten Schema die längere Lebensdauer (rote Linie)?

- ☐ Unlegierter Betonstahl
- ☐ Nichtrostender Betonstahl

Frage

Welcher Stahl hatte im gezeigten Schema die längere Lebensdauer (rote Linie)?

- ☐ Unlegierter Betonstahl
- ☒ Nichtrostender Betonstahl

Nichtrostender Betonstahl

Die Gruppe der nichtrostenden Betonstähle umfasst Stahlsorten mit einem Chromgehalt von mindestens 10.5 Massen-Prozent.

Wirksumme (PREN)

Die Wirksumme (PREN) ist ein Näherungsmaß für den Widerstand gegen Lochkorrosion. Sie wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3.3 \cdot \text{Mo} + 16 \cdot \text{N}$$

Klassifizierung der Stahlsorten:

- **Ferritische Stahlsorten:** $n = 0$
- **Duplex-Stahlsorten:** $n = 16$
- **Austenitische Stahlsorten:** $n = 30$

Gegeben ist ein Stahl mit:

Chrom (Cr): 18 %

Molybdän (Mo): 2 %

Stickstoff (N): 0.15 %

Frage

Berechnen Sie den PREN-Wert für diesen Stahl.

Lösung

Berechnung:

$$\begin{aligned}\text{PREN} &= \text{Cr} + 3.3 \cdot \text{Mo} + 16 \cdot \text{N} \\ &= 18 + 3.3 \cdot 2 + 16 \cdot 0.15 \\ &= 18 + 6.6 + 2.4 \\ &= 27\end{aligned}$$

Lösung

Berechnung:

$$\begin{aligned}\text{PREN} &= \text{Cr} + 3.3 \cdot \text{Mo} + 16 \cdot \text{N} \\ &= 18 + 3.3 \cdot 2 + 16 \cdot 0.15 \\ &= 18 + 6.6 + 2.4 \\ &= 27\end{aligned}$$

Interpretation: Mit einem PREN-Wert von 27 zeigt diese Stahlsorte einen moderaten Widerstand gegen Lochkorrosion und fällt in die Kategorie **Duplex-Stahlsorten**.

Korrosionswiderstandsklassen (KWK)

Die Einteilung eines (nichtrostenden) Betonstahls in die Korrosionswiderstandsklassen KWK (0 - 4) wird aufgrund seiner Wirksumme vorgenommen.

| KWK | Wirksumme | Bemerkungen / typische Vertreter |
|-----|-----------|---|
| 0 | 0–9 | Unlegierter oder niedrig legierter Betonstahl |
| 1 | 10–16 | Chromstähle |
| 2 | 17–22 | Chromnickelstähle |
| 3 | 23–30 | Chromnickelstähle mit Molybdän |
| 4 | ≥ 31 | Stahlstorten mit erhöhtem Gehalt an Chrom und/oder Molybdän |

Tabelle: Quelle: SIA Merkblatt 2029, Tabelle 1

| KWK | Werkstoff-Nr. | Kurzbeschreibung | Cr, M% | Mo, M% | N, M% | WS |
|-----|-----------------|---------------------|--------|--------|-------|----|
| 1 | 1.4003 | X2CrNi 12 / X2Cr 11 | 10.5 | - | - | 11 |
| 1 | Top 12 (1.4003) | X2CrNi 12 / X2Cr 11 | 12.1 | 0.5 | - | 13 |
| 2 | 1.4301 | X5CrNi 18-10 | 17 | - | - | 17 |
| 3 | 1.4401 | X5CrNiMo 17-12-2 | 16.5 | 2 | - | 23 |
| 3 | 1.4429 | X2CrNiMoN 17-13-3 | 16.5 | 2.5 | 0.12 | 27 |
| 4 | 1.4462 | X2CrNiMoN 22-5-3 | 21 | 2.5 | 0.10 | 31 |
| 4 | 1.4529 | X1NiCrMoCuN 25-20-7 | 19 | 6 | 0.15 | 41 |

Tabelle: Quelle: SIA Merkblatt 2029, Tabelle 2; Steeltec-group, Top 12 Technical Datasheet

Frage

Welche Korrosionswiderstandsklasse (KWK) hat die Legierung von vorher? (Wirksumme = 27)

Frage

Welche Korrosionswiderstandsklasse (KWK) hat die Legierung von vorher? (Wirksumme = 27)

Lösung

Lösung:

☒ KWK 3

Frage

Welches sind Vorteile von nichtrostendem Betonstahl bei Betonbauwerken? (Hinweis: Denke an die Exposition)

Frage

Welches sind Vorteile von nichtrostendem Betonstahl bei Betonbauwerken? (Hinweis: Denke an die Exposition)

Lösung

Vorteile:

- ✓ Geringere Überdeckung bei gleicher Lebensdauer möglich. \Rightarrow schlankere Bauteile, weniger Betonverbrauch möglich

| | Beton- sorte | Expositions- klasse | c_{nom} (mm) | Empfohlene Korrosionswiderstandsklasse KWK | | | |
|------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|--|------------------|-------------------------|--------------|
| | | | | für c_{nom} | | für $c_{red} < c_{nom}$ | |
| | | | | keine Karbonatisierung | Karbonatisierung | ≥ 20 mm | ≥ 30 mm |
| Hochbauten | A | XC2(CH) | 35 | 0 | 0 | 1 | |
| | B | XC3(CH) | 35 | 0 | 0 | 1 | |
| | C | XC4(CH) XF1(CH) | 40 | 0 | 1 | 1 | |
| Tiefbauten | D + E | XC4(CH) XD1(CH) XF2/4(CH) | 40 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| | F + G | XC4(CH) XD3(CH) XF2/4(CH) | 55 | 0 | 2 | 4 | 3 |

Abbildung: Quelle: SIA Merkblatt 2029, Tabelle 3

Video

- Weiter ab 15 min

- keine

- **13.01.2024 : Prüfung:** Holz-und Holzwerkstoffe, Natursteine

Haben Sie Fragen zur letzten Lektion?