

Top12 – Niedrigste Lebenszykluskosten für chloridbelastete Infrastrukturbauteile aus Beton*

An Verkehrsbauwerken mit nur sehr geringem Alter sind in der Vergangenheit vermehrt Schäden aufgetreten. Ursache ist die hohe Tausalzbelastung durch Streusalz/Sole aus dem Winterdienst, welche chloridinduzierte Bewehrungskorrosion hervorruft. Die Instandsetzung resultierender Schäden ist nicht zuletzt aufgrund i.d.R. erforderlicher Verkehrssicherungsmaßnahmen sehr kostenintensiv. Immer öfter stellt sich die Frage, welche Massnahmen zu ergreifen sind, um zum einen Kosten zu reduzieren und zum anderen aber eine hohe Dauerhaftigkeit bei gleichzeitiger Robustheit der Massnahme sicherzustellen.

In diesem Zusammenhang wurden Lebenszykluskostenbetrachtungen für stark chloridbeaufschlagte Bauteile, wie Brückenkappen, Brückenmittelpfeiler, Tunnelnotgehwege, Tunnelinnenwände durchgeführt. Für einen objektiven Vergleich wurden neben verschiedenen Stahlgüten (konventionelle vs. nichtrostende Bewehrung) auch Oberflächenschutzsysteme (OS-System vs. Tiefenhydrophobierung) sowie verschiedene Instandsetzungsvarianten (Erneuerung OS-System vs. Instandsetzung oder Abbruch/Neubau) betrachtet. Für eine abschliessende Bewertung relevanter Varianten wurden neben den Lebenszykluskosten zusätzlich auch die Themen „Dauerhaftigkeit“ sowie „Baupraktische Gesichtspunkte“ berücksichtigt.

Ergebnisse der Lebensdauerberechnungen ($w/z = 0,45$; $\beta = 0,5$)*

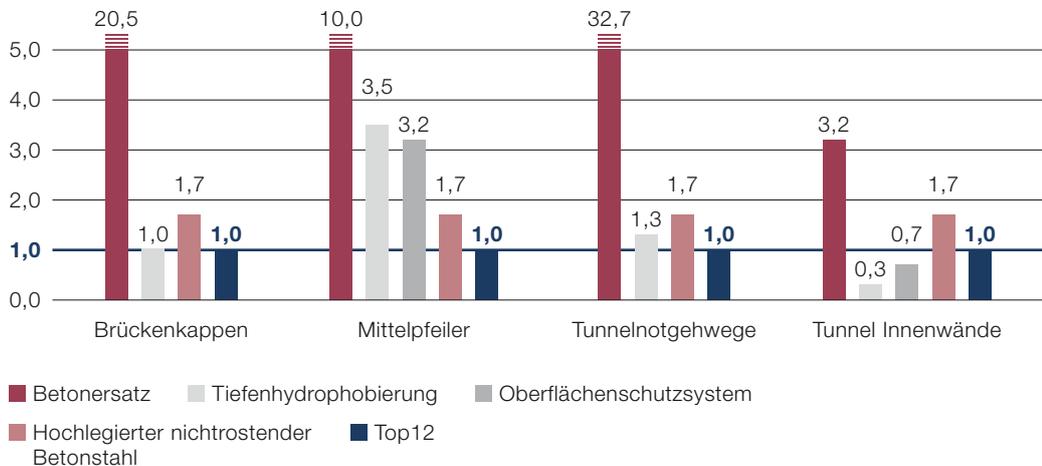
Bauteile	Stahlsorte	Chloridbelastung [M.-%/z] (Cs, Δx)	Betondeckung [mm] (μ/σ)	Bindemittel	Berechnete Lebensdauer [a]	Angestrebte Lebensdauer [a]
Brückenkappen	unlegierter Stahl	3,5	50 / 6	CEM II/B-S	14	50
	Top12				>100	
Mittelpfeiler	unlegierter Stahl	3,0	55 / 8	CEM II/B-S + 30kg/m ³ FA	73	100
	Top12				>>100	
Tunnelnotgehwege	unlegierter Stahl	5,0	50 / 6	CEM II/B-S	10	50
	Top12				55	
Tunnel Innenwände	unlegierter Stahl	4,0	60 / 6	CEM II/B-S + 30kg/m ³ FA	68	100
	Top12				>>100	

*Verwendete Daten und Bilder beruhen auf der gutachterlichen Stellungnahme 16-192/1.1.3 vom „Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH“ (München 26. Juli 2018, Deutschland)



Ergebnisse der Lebenszykluskosten*

Vergleich der verschiedenen Varianten (normiert auf Top12) hinsichtlich Lebenszykluskosten – vertikale Achse abgeschnitten bei 5,0



Zusammenfassung*

- a) Konventioneller Betonersatz als reaktive Instandsetzungsstrategie (unlegierter Betonstahl, kein Oberflächenschutz) hat für alle Bauteile die höchsten Lebenszykluskosten zur Folge!
- Top12-Stahl hat deutlich geringere Lebenszykluskosten, insbesondere bei niedrigem Bewehrungsgehalt.

„Für eine abschliessende Bewertung wurde zusätzlich auf die Themen ‘Dauerhaftigkeit’ und ‘baupraktische Gesichtspunkte’ eingegangen. Alle Varianten bieten in Bezug auf jeweils nur eine Fragestellung Vorteile, berücksichtigt man aber bei einer Bewertung alle drei Gesichtspunkte (Kosten, Dauerhaftigkeit und baupraktische Vorteile), so schneidet der Top12-Stahl am besten ab.“*

- b) Vergleich Top12 mit „unlegiertem Betonstahl mit Oberflächenschutzmassnahmen“:

- Bei Bauteilen mit kleinen Betonflächen (Pfeiler) ist die Variante mit Top12-Stahl günstiger.
- Bei Bauteilen mit niedrigen Bewehrungsgehalten (z.B. Brückenkappen, Tunnelnotgehwege) liegen je nach Betrachtungsfall die Lebenszykluskosten in etwa in der gleichen Grössenordnung bzw. ist die Variante mit Top12-Stahl etwas günstiger.
- Bei hochbewehrten Bauteilen mit grossen Betonflächen, wie z.B. Tunnelinnenwänden, ist die Variante mit konventionellem Betonstahl und OS-System günstiger. Einsparpotential besteht bei der Variante mit Top12-Stahl bei hochbewehrten Bauwerken in der Verwendung von Mischbewehrung.

- c) Top12 im Vergleich zu hochlegiertem nichtrostendem Betonstahl:

- Lebenszykluskosten von Top12 sind generell rd. 40% geringer

*Verwendete Daten und Bilder beruhen auf der gutachterlichen Stellungnahme 16-192/1.1.3 vom „Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH“ (München 26. Juli 2018, Deutschland)

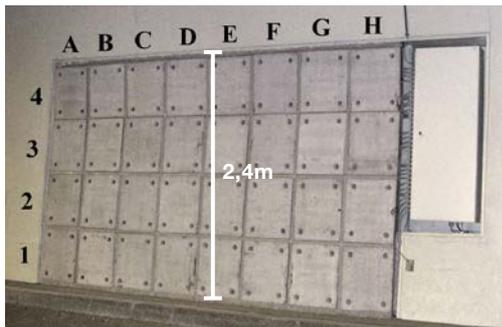


Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit – Feldversuche im Naxbergtunnel in der Schweiz

Die Erstellung dauerhafter Bauwerke setzt Kenntnisse über die ablaufenden Schädigungsmechanismen sowie über die Wirkung und die Wirksamkeit verschiedener Massnahmen voraus. Eine der Hauptursachen für die Schäden an Infrastrukturbauwerken ist die chloridinduzierte Bewehrungskorrosion. Insbesondere für Infrastrukturbauwerke unter Spritzwasserbeanspruchung (Neubau und Instandsetzung) gibt es nach wie vor keinen Konsens zur effektivsten und wirtschaftlichsten Massnahme gegen diesen Schadensfall.

Ziele des Forschungsprojekts*

Ziele des Projektes sind die Untersuchung des Korrosionsverhaltens unterschiedlicher Stahlqualitäten in verschiedenen Betonen unter realen Expositionsbedingungen, der Einfluss der Betonüberdeckung auf die Initiation und den Korrosionsfortschritt, die Abhängigkeit des Wasser- und Chlorideintrages über die Zeit und die Ermittlung von Kenngrössen für probabilistische Dauerhaftigkeitsbetrachtungen.



2000



2012

Feldversuch im Naxbergtunnel*

Seit 2000 läuft ein Feldversuch mit instrumentierten Betonplatten im Naxbergtunnel auf der A2 in der Nähe von Göschenen (CH). Im Rahmen der Instandsetzung des Naxbergtunnels wurde ein in seiner Art wohl einmaliger Versuchsstand eingerichtet, der Platz für 32 Ver-

suchsplatten bietet und ganz neue Perspektiven für die langfristige Untersuchung von Schädigungsprozessen und Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit (Einleitungs- und Schädigungsphase) unter Realbedingungen eröffnet.

*Verwendete Daten und Bilder beruhen auf Y. Schiegg; F. Hunkeler; D. Keller; H. Ungricht (2017): Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit – Fortsetzung des Feldversuchs Naxbergtunnel. Band 683 von Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen (ASTRA).



Ergebnisse nach 12 Jahren Realbelastung in einem Alpenstrassentunnel (Betondeckung = 10mm)*



- Konventioneller Betonstahl und verzinkter Stahl zeigten Lochfrasskorrosion und eine korrodierte Stahloberfläche von mehr als 70%.
- Die Zinkbeschichtung ist praktisch vollständig aufgelöst und der darunter liegende Stahl korrodiert unter Lochfrass. Die korrosionsbedingte Abtragsrate der Zinkbeschichtung ist in feuchtem und chloridhaltigem Beton sehr hoch, so dass die Schutzwirkung des Zinks schnell erschöpft und letztlich keinen Mehrwert mehr bietet.
- Top12 hat nur wenige kleinere Roststellen ohne messbaren Materialabtrag
- Duplexstahl 1.4462 ist wie erwartet absolut blank und immer noch passiv

Schlussfolgerungen für nachhaltige Verkehrsbauwerke

Das gesamte Materialsystem muss berücksichtigt und hinsichtlich vorhandener Chloridbelastung und angestrebter Lebensdauer optimiert werden. Dies erfordert eine Kombination aus...

1. Optimierte Betontechnologie bzw. bestmögliche Auswahl lokal verfügbarer Bindemittelsysteme hinsichtlich Chloridwiderstand (z.B. CEM I plus Flugasche / Hüttensand)
2. Wenn mit Hilfe der Betontechnologie die gewünschte Lebensdauer nicht garantiert werden kann, ist nichtrostender Betonstahl zu berücksichtigen (z.B. Top12)
3. Sollten beide Massnahmen (1+2) die geplante Lebensdauer nicht gewährleisten, kann ein zusätzliches Oberflächenschutzsystem (z.B. Tiefenhydrophobierung) eine wirtschaftliche Rückfallebene sein, um den Bauwerkszustand zu konservieren

*Verwendete Daten und Bilder beruhen auf Y. Schiegg; F. Hunkeler; D. Keller; H. Ungricht (2017): Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit – Fortsetzung des Feldversuchs Naxbergtunnel. Band 683 von Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen (ASTRA).

