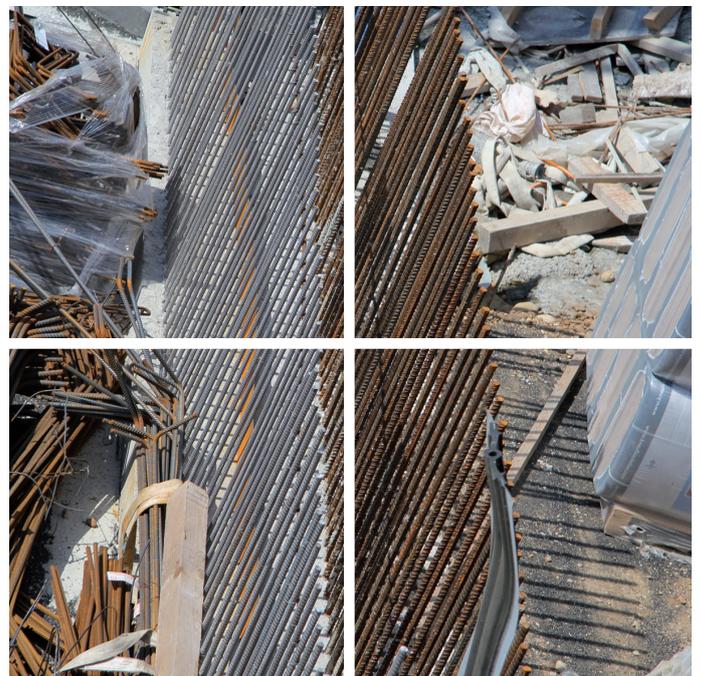


Straße und Autobahn



Sonderdruck
aus der Ausgabe 1/2021



Lebenszykluskosten sind entscheidende Kenngröße zur wirtschaftlichen und nachhaltigen Ausführung von Brücken- und Tunnelbauwerken

An Verkehrsbauwerken mit nur sehr geringem Alter sind in der Vergangenheit vermehrt Schäden aufgetreten. Ursache ist die hohe Chloridbelastung durch Streusalz aus dem Winterdienst, welche chloridinduzierte Bewehrungskorrosion hervorruft. Die Instandsetzung resultierender Schäden ist nicht zuletzt aufgrund in der Regel erforderlicher Verkehrssicherungsmaßnahmen sehr kostenintensiv. Immer öfter stellt sich die Frage, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um zum einen Kosten zu reduzieren und zum anderen die Gebrauchstauglichkeit über die geplante Lebensdauer sicherzustellen. In diesem Zusammenhang wurden Lebenszykluskostenbetrachtungen für stark chloridbeaufschlagte Bauteile wie Brückenkappen, Brückenmittelpfeiler, Tunnelnotgehwege und Tunnelinnenwände durchgeführt. Es wurden verschiedene Stahlgüten (konventionelle vs. nichtrostende Bewehrung) und Oberflächenschutzsysteme (OS-System vs. Tiefenhydrophobierung) verglichen. Die Ergebnisse sind wegweisend für Betreiber großer Bauwerksbestände und implizieren zugleich einen Strategiewechsel.

1 Einleitung

Der Bestand an Tunnel- und Brückenbauwerken im Bundesfernstraßennetz besteht zu einem großen Anteil aus Stahl- und Spannbetonkonstruktionen. Bei der Planung dieser Konstruktionen stehen die Baukosten im Vordergrund. Die Kosten für zukünftige Instandhaltungen und Instandsetzungen fließen bei der Ausschreibung und Vergabe bisher selten als Entscheidungskriterium mit ein.

In der jüngsten Vergangenheit [1] wurde bereits darauf hingewiesen, dass bisher bei der Planung und Errichtung von Tunnel- und Brückenbauwerken der Aspekt der Dauerhaftigkeit, insbesondere in Bezug auf die chloridinduzierte Bewehrungskorrosion, vernachlässigt wurde. Eine aktuelle Analyse [2] zeigt, dass dies heute Auswirkungen auf die an Verkehrsbauwerken untersuchten Schäden hat – hier beträgt der Anteil von Schäden infolge chloridinduzierter Bewehrungskorrosion am Gesamtschadens-

volumen der Brückenbauwerke im deutschen Autobahnnetz rund 77 %. Die Instandsetzung dieser Schäden verursacht hohe Kosten sowie Verkehrssperrungen während der laufenden Maßnahmen. Aus diesem Grund wurden in letzter Zeit vom BMVI mehrere Pilotprojekte lanciert, bei denen die Dauerhaftigkeit verschiedener Verkehrsbauwerke durch konstruktive und materialtechnische Maßnahmen optimiert werden soll (z. B. Tunnel Eching/ Etterschlag [3]).

2 Lebenszyklus von Stahlbetonbauwerken

Der Lebenszyklus einer Stahl- oder Spannbetonkonstruktion umfasst die Phasen Planung, Herstellung, Nutzung und Abbruch.

In Bezug auf die Dauerhaftigkeit müssen im Rahmen der Planung zunächst die Einwirkungen und die gewünschte Lebensdauer festgelegt werden. Im Anschluss muss der Planer in Abhängigkeit der Einwirkungen entsprechende Vorgaben zu den dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften des Bauwerks liefern. Erst kürzlich eingeführte Richtlinien nehmen die neuen Performance-orientierten Konzepte auf und setzen diese konsequent um [4].

Während der Herstellung müssen die Planungsvorgaben umgesetzt werden. Bei dieser Phase macht

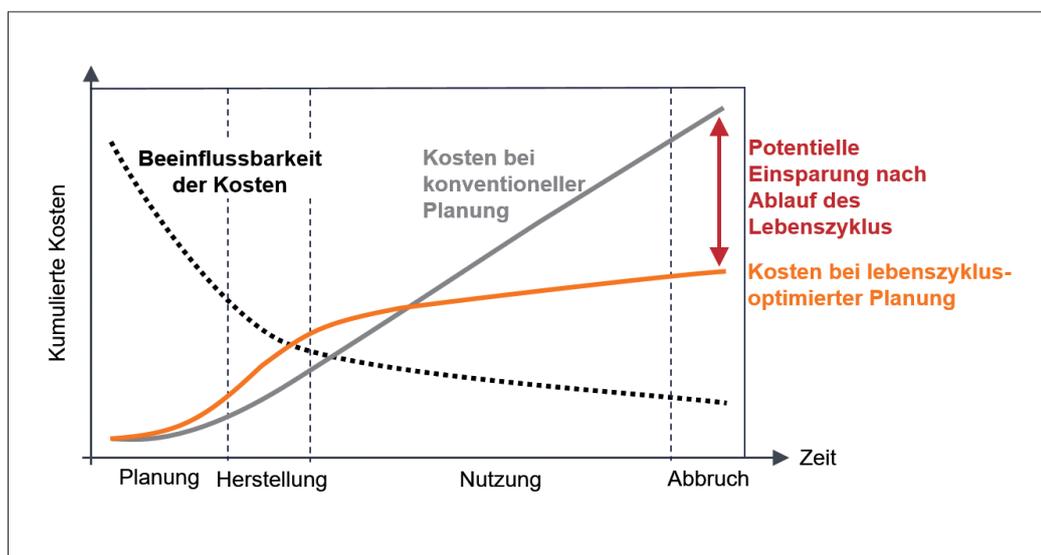


Bild 1: Konventionelle vs. lebenszyklusoptimierte Planung (schematisch) [5]

■ Verfasser

Dr.-Ing. Marc Zintel

marc.zintel@steeltec-group.com

Swiss Steel AG
Emmenweidstrasse 90
CH-6020 Emmenbrücke
www.steeltec-group.com

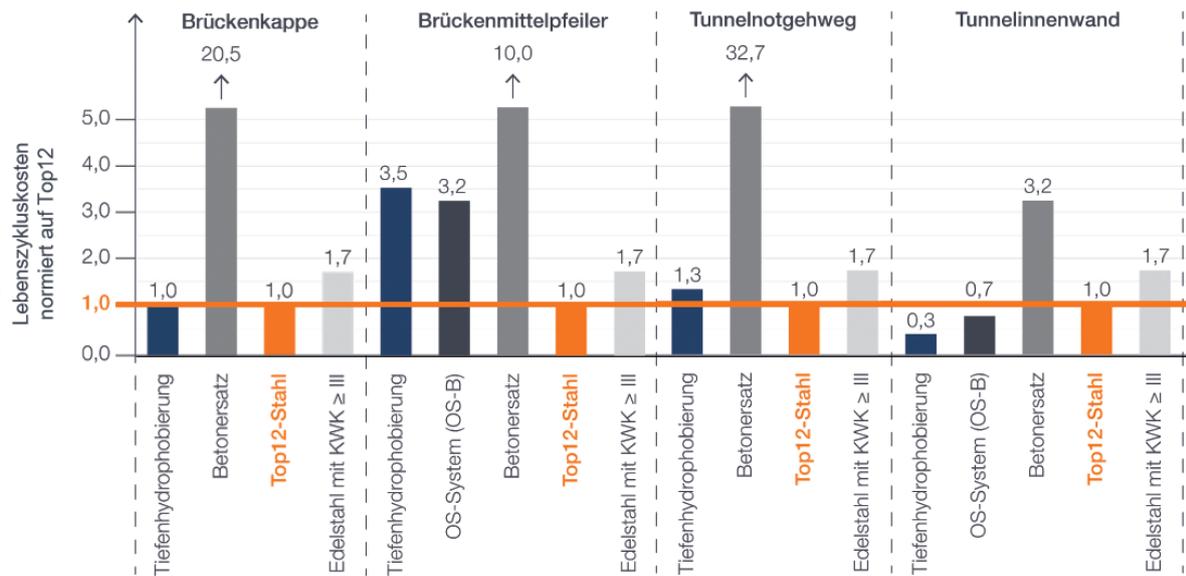


Bild 2: Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnung, analog [6]

sich zunehmend das öffentliche Vergabewesen bemerkbar. Da grundsätzlich der kostengünstigste Bieter den Zuschlag erhält, rückt die Qualität der Ausführung in den Hintergrund. Dies hat zahlreiche Schäden oder Mängel zur Folge, die während der Nutzung häufig zu einer Verringerung der Dauerhaftigkeit führen.

Nach der Fertigstellung des Bauwerks beginnt die dritte und längste Phase, die sogenannte Nutzungsphase. Die im Rahmen der ersten beiden Phasen erzielte Dauerhaftigkeit des Bauwerks hat einen erheblichen Einfluss auf die Performance des Bauwerks im Betrieb.

Vor diesem Hintergrund stellt die nachhaltige Planung und Herstellung sowie die systematische Erhaltung von Infrastrukturbauwerken eine zentrale Aufgabe für den Bauwerksbetreiber dar. Aufgrund limitierter Haushaltsmittel spielen hierbei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über die gesamte Nutzungsdauer des Bauwerks eine große Rolle. Dabei ist zu beachten, dass eine Baumaßnahme nicht zwingend dann ökonomisch ist, wenn Planungs- und Herstellungskosten gering sind. Vielmehr kann eine Investition aus ökonomischer Sicht erst dann erschöpfend beurteilt werden, wenn über

die angestrebte Nutzungsdauer auch alle relevanten Folgekosten von anfallenden Erhaltungsmaßnahmen bis hin zum Abbruch bzw. Neubau in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit einfließen. Neben der Wirtschaftlichkeit sollten für verschiedene Ausführungsvarianten auch die Ergebnisse einer Ökobilanzierung in Abhängigkeit der Materialströme aus Herstellung und Instandsetzung Berücksichtigung finden.

3 Lebenszykluskostenbetrachtung für verschiedene Bauteile

3.1 Allgemeines

Für die durchgeführten Lebenszykluskostenbetrachtung wurden Bauteile aus Verkehrsbauwerken herausgesucht, an denen in der Praxis häufig Schäden auftreten:

- Brückenkappe,
- Brückenmittelpfeiler,
- Tunnelnotgehweg,
- Tunnelinnenwand.

Je Bauteil wurden im Wesentlichen drei verschiedene praxisrelevante Ausführungsvarianten berücksichtigt. Die erste Variante umfasst die übliche unbeschichtete Stahlbetonausführung, wel-

che im Fall einer notwendigen Instandsetzung einen Betonersatz nach sich zieht. Bei der zweiten Variante wurde der Einsatz eines Oberflächenschutzsystems (OS-System oder Tiefenhydrophobierung) inkl. notwendiger Instandhaltungsaufwendungen berücksichtigt. Als dritte Variante wurde der Einsatz von nichtrostendem Betonstahl geprüft. Hierbei kam Top12-Stahl als niedriglegierter nichtrostender Betonstahl (1.4003) als auch ein hochlegierter nichtrostender Betonstahl mit der Korrosionswiderstandsklasse (KWK) \geq III zum Einsatz (z. B. 1.4571).

3.2 Konventionelle vs. lebenszyklusoptimierte Planung

Bei der konventionellen Planung fallen aufgrund Standardausführungen (z. B. klassische Stahlbetonbauweise) vergleichsweise geringe Kosten in der Planungsphase an. Bei hohen Chloridbelastungen sind Instandsetzungen in der Nutzung meist unumgänglich. Das Ergebnis sind hohe kumulierte Kosten bis zum Nutzungsende. Der Kostenverlauf bei konventioneller Planung ist in Bild 1 über die Phasen des Bauwerkslebenszyklus schematisch dargestellt.

Bei der lebenszyklusoptimierten Planung stellt man bereits in der Planungsphase verschiedene Ausführungsvarianten gegenüber (hier z. B.: klassisch unbeschichtet vs. beschichtet oder nichtrostender Stahl). Da für jede einzelne Ausführungsvariante die Herstellungs- und Betriebskosten aufsummiert werden müssen, fallen i. d. R. im Vergleich zur konventionellen Planung höhere Kosten in der Planungsphase an (Bild 1). Eine Entscheidung für oder gegen eine Ausführungsvariante allein anhand von Herstellungskosten fest zu machen, ist zu kurz gedacht. Vielfach ist die Variante mit den geringsten Lebenszykluskosten (entspricht z. B. Summe aus Herstellungs- und Betriebskosten über 100 Jahre) in der Herstellung teurer als die konventionelle Standardausführung.

Entscheidend ist vielmehr wie der Kostenunterschied und damit der Vergleich nach 50 bzw. 100 Jahren Lebensdauer aussieht. Die Einsparpotentiale im Zuge einer lebenszyklus-optimierten Planung sind erheblich.

Details zu Randbedingungen und untersuchter Varianten sind [6] zu entnehmen.

3.3 Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnung

In Bild 2 sind die Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen für eine geplante Nutzungsdauer von 50 bzw. 100 Jahren zusammengestellt. Hierbei wurden die Lebenszykluskosten auf die in vielen Fällen wirtschaftlichste Variante (hier Top12-Stahl als niedriglegierter nichtrostender Betonstahl) normiert.

Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Die konventionelle Stahlbetonbauweise ohne zusätzliche Schutzmaßnahme (Oberflächenschutzsystem, Edelstahl) hatte für alle Bauteile die mit Abstand höchsten Lebenszykluskosten zur Folge. Die hohen Lebenszykluskosten resultierten aus notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen (hier Betonersatz), welche vor Erreichen der geplanten Lebensdauer notwendig wurden.

Bei Brückenkappen stellt die Verwendung von Top12-Stahl bzw. der Einsatz einer Tiefenhydrophobierung die wirtschaftlichste Ausführungsvariante dar. Für Tunnelnotgehwege, welche einer

Kappe ähnlich aber höher chloridbelastet sind, liegt Top12 vorne. Eine Tiefenhydrophobierung ist hier sogar 30 % teurer.

Für Brückenmittelpfeiler ist der Einsatz von Top12-Stahl die mit Abstand sinnvollste Variante. Die Kosten für ein Oberflächenschutzsystem liegen im Vergleich zu Top12 um den Faktor 3 höher. Tunnelinnenwände haben im Vergleich zu den restlichen Bauteilen deutlich höhere Bewehrungsgrade, was sich nachteilig auf die Herstellungskosten für die Edelstahl-Varianten auswirkt. Dies hat zur Folge, dass die geringsten Lebenszykluskosten nach 100 Jahren beim Einsatz von Oberflächenschutzsystemen erreicht werden. Die Tiefenhydrophobierung liegt hier noch deutlich vor einem OS-System.

4 Ergebnistransfer und Ausblick

Bisher wird die Dauerhaftigkeit gegenüber chloridinduzierter Bewehrungskorrosion von Brückenbauwerken in der Stahlbeton- und Spannbetonbauweise nach ZTV-ING indirekt über die

Zuweisung bestimmter Betondeckungen sowie Expositionsklassen und damit verbundenen Anforderungen an die Betonzusammensetzung berücksichtigt. Zahlreiche Schäden zeigen aber, dass für besonders stark beanspruchte Bauteile wie z. B. Brückenkappe, Brückenmittelpfeiler, Tunnelnotgehweg und Tunnelwand weitere Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Dauerhaftigkeit über die angestrebte Nutzungsdauer von 50 bzw. 100 Jahren sicherzustellen. Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnung liefern hilfreiche Hinweise, wie in Bezug auf chloridinduzierte Bewehrungskorrosion dauerhafter und bei Betrachtung der gesamten Nutzungsdauer auch kostengünstiger gebaut werden kann. In der Folge können aus wirtschaftlicher, nachhaltiger und volkswirtschaftlicher Sicht sehr aufwendige Instandsetzungen an stark frequentierten Verkehrsbauwerken vermieden werden.

Der vorliegende Beitrag stellt lediglich einen Ausschnitt des Hauptaufsatzes dar, welcher bereits in [6] vollständig veröffentlicht wurde.

Literaturverzeichnis

- [1] Schießl-Pecka, A.; Willberg, U.; Rausch, A.; Bäuml, W. (2018): 100 Jahre Dauerhaftigkeit für Brücken- und Tunnelbauwerke. Beton- und Stahlbetonbau 113, Heft 10, S. 746–755
- [2] Breit, W. (2019): Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt – Grenzwerte, Empfehlungen. Tagungsunterlagen vom 4. Münchner Bausymposium am 26.9.2019, Hochschule München
- [3] Willberg, U.; Schneck, U.; Schießl-Pecka, A. (2019): A 96 Tunnel Eching und Etterschlag Alternative Betoninstandsetzung, Tagungsband Kolloquium Straßenbau in der Praxis am 29.–30.1.2019 in Esslingen, Techn. Akademie Esslingen
- [4] Bundesanstalt für Wasserbau (2017): BAW-Merkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC). Ausgabe 2017
- [5] Schießl-Pecka, A.; Rausch, A.; Zintel, M.; Linden, C. (2020): Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile in Parkbauten. Vortrag auf 9. Kolloquium Parkbauten, 4.–5.2.2020, Techn. Akademie Esslingen
- [6] Schießl-Pecka, A.; Rausch, A.; Zintel, M.; Linden, C. (2019): Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken. Beton- und Stahlbetonbau 114, Heft 10, S. 767–775



Swiss Steel AG
Emmenweidstrasse 90
CH-6020 Emmenbrücke

T: +41 41 209 51 51
steelforconstruction.com

Member of Swiss Steel Group



Steeltec