



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



29. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

11./12. MÄRZ 2019

© 2019 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Beyer, Kurt: Südthailand. Zweibogige Betonbrücke im Bau, 1912/1913
Foto: SLUB Dresden / Deutsche Fotothek / Kurt Beyer

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-585-8



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

29. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau

Freunde des Bauingenieurwesens e.V.

TUDIAS GmbH

11. und 12. März 2019

Inhalt

Herzlich willkommen zum 29. Dresdner Brückenbausymposium	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen, Rektor der TU Dresden</i>	
Verleihung der Wackerbarth-Medaille	13
Laudatio für Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke aus Anlass der Verleihung der Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen	14
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Christian Menn – Brückenbauer, Lehrer, Ästhet	17
<i>Dr.-Ing. Silke Scheerer, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Aktuelles zum Regelwerk des Bundes für den Ingenieurbau	25
<i>TRDir Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Die Maputo-Katembe-Brücke, das neue Wahrzeichen Mosambiks – Drei Bauverfahren bei der längsten Hängebrücke Afrikas	29
<i>Dipl.-Ing. Joern Seitz, Dipl.-Ing. (FH) Martin Pohl</i>	
Monitoring und Visualisierung im Infrastrukturbau.....	47
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Dr.-Ing. David Sanio, Dr.-Ing. Steffen Schindler</i>	
Verkehrsinfrastruktur für Hamburg – Neubau der Waltershofer Brücken im Hamburger Hafen.....	59
<i>Dr.-Ing. Christoph Vater</i>	
Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung von neuen Verfahren im Brückenbau	73
<i>o.Univ.Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Benjamin Kromoser, Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Eichwalder</i>	
Stahlverbund-Großbrücken mit oberliegender Fahrbahn als Querschnitte mit Teilfertigteilen und Schrägstreben bzw. Konsolen	85
<i>Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler, Dipl.-Ing. Gregor Gebert</i>	
Kurt Beyers Beitrag zur Baustatik	101
<i>Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Karl-Eugen Kurrer</i>	
Nachrechnungsdefizite bei Massivbrücken – Ein Problem der Tragfähigkeit oder [doch nur] der Modellvorstellung?	129
<i>Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer; Sebastian Gehrlein, M.Sc.; Nicholas Schramm, M.Sc.; Marcel Nowak, M.Sc.</i>	
Was tun, wenn Annahmen und Realität nicht zusammenpassen?	149
<i>Dr.-Ing. Hans-Gerd Lindlar, Dr.-Ing. Stefan Franz, Dipl.-Ing. Lars Dietz, Dr.-Ing. Bastian Jung, M. Eng. Tarik Tiyma</i>	
Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken	161
<i>Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Anne Rausch, Dr.-Ing., MBA und Eng. Marc Zintel, Dipl.-Ing., MBA Luzern Christian Linden</i>	
Dauerhafte und wirtschaftliche Straßenbrücken mit Halbfertigteilen aus vorgespanntem Carbonbeton	173
<i>Dr.-Ing. Frank Jesse, Dipl.-Ing. Andreas Apitz, Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich</i>	
Der 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze und seine Konsequenzen	185
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Proske</i>	
Chronik des Brückenbaus	197
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	
Inserentenverzeichnis	207

Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken

Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka¹, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Anne Rausch¹,
Dr.-Ing., MBA und Eng. Marc Zintel², Dipl.-Ing., MBA Luzern Christian Linden²

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. Aktuelle Analysen zeigen, dass dies heute Auswirkungen auf die an Verkehrsbauwerken untersuchten Schäden hat – nach [2] beträgt der Anteil von Schäden infolge chloridinduzierter Bewehrungskorrosion am Gesamtschadensvolumen der Brückenbauwerke im deutschen Autobahnnetz rd. 66 %. 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. Greißelbachbrücke [3], Tunnel Eching/Etterschlag [4], Tunnel Tutting).

Von den Kritikern dieser Herangehensweise werden als Gegenargument häufig die hohen Baukosten der neuen Bauweisen ins Feld geführt. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit hinsichtlich Lebenszykluskosten untersucht und mit der herkömmlichen Bauweise verglichen.

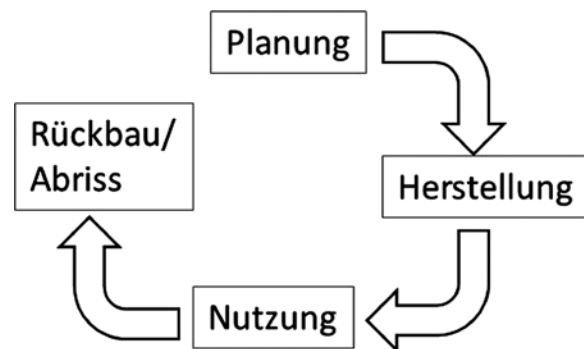


Bild 1 Vereinfachter Lebenszyklus eines Stahlbetonbauwerks³

2 Lebenszyklus von Stahlbetonbauwerken

Der Lebenszyklus einer Stahl- oder Spannbetonkonstruktion umfasst die Phasen Planung, Herstellung/Ausführung, Nutzung und Rückbau/Abriss, vgl. Bild 1. Demnach muss eine umfassende, vergleichende Kostenbetrachtung eigentlich diese vier Stationen im Leben eines Bauwerks berücksichtigen. Der hier vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit den Kosten, die während der ersten drei Phasen eines Lebenszyklus mit definierter Lebensdauer auftreten. Die Kosten für Abriss und Rückbau am Ende des Lebenszyklus werden nicht betrachtet.

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. Die aktuell in Deutschland bauaufsichtlich eingeführten Normen [5] und [6] bieten hier wenige Variationsmöglichkeiten. Sie nutzen die heute existierenden technischen Möglichkeiten und wissenschaftlichen Erkenntnisse nur wenig, z. B. [7]–[9], um das Bauwerk mit einer optima-

¹ Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München

² Swiss Steel AG, Emmenbrücke (Schweiz)

³ Alle Bilder: Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH

len Dauerhaftigkeit auszustatten. Allerdings greifen aktuell die erst kürzlich eingeführten Richtlinien zum Teil diese neuen performanceorientierten Konzepte auf und setzen diese konsequent um [10].

Während der Herstellung/Ausführung müssen die Planungsvorgaben umgesetzt werden. Bei dieser Phase macht sich zunehmend das öffentliche deutsche 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 Phase, die sogenannte „Nutzungsphase“. Die im Rahmen der ersten beiden Phasen erzielte Dauerhaftigkeit des Bauwerks hat einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten (Performance) des Bauwerks im Betrieb. Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten infolge von z. B. auftretender Bewehrungskorrosion stehen in einem engen Zusammenhang mit den planerischen Vorgaben und der Umsetzung im Zuge der Herstellung. Darüber hinaus kann durch ein systematisches Monitoring der Bauwerke im Hinblick auf kritische Punkte (z. B. Chlorideindringfront) frühzeitig eingegriffen werden und mit verhältnismäßig günstigen Maßnahmen eine kostenintensive Instandsetzungsmaßnahme hinausgezögert oder ganz vermieden werden.

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 Abriss bzw. Neubau in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit einfließen.

3 Übersicht zu dauerhaftigkeitsrelevanten Einflussfaktoren bei chloridinduzierter Korrosion

Um bei chloridinduzierter Bewehrungskorrosion die geplante Dauerhaftigkeit von Verkehrsbauwerken zu gewährleisten bzw. zu steuern, müssen relevante Einwirkungen und Bauteilwiderstände identifiziert und gegenübergestellt werden. Die entsprechenden Einflussfaktoren wurden bereits in früheren Veröffentlichungen im Detail beschrieben [1] und werden an dieser Stelle noch einmal kurz aufgezählt:

Einwirkungsseite:

- Streusalzaufkommen,
- Verkehrsintensität,
- Entfernung der Chloridquelle vom Bauteil,
- Bauteilausrichtung.

Widerstandsseite:

- Betondeckung,
- Materialwiderstand Beton,
- Materialwiderstand Betonstahl (z. B. unlegierter Stahl, nichtrostender Stahl, verzinkter Stahl),
- Oberflächenschutzsystem (OS-System).

4 Strategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit

Chloridinduzierte Korrosion tritt bei Stahlbetonbauteilen auf, bei denen Chloride von der Bauteiloberfläche zur Bewehrungsfläche transportiert werden und infolge von Aufkonzentrationen der Chloridgehalt auf Bewehrungshöhe den kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt von Betonstahl überschreitet. Daraus ergeben sich im Hinblick auf den Materialwiderstand, vgl. auch Abschnitt 3, bei der Planung und Ausführung von Brückenbauwerken nach [11] drei mögliche Lösungsstrategien (vgl. auch Bild 2), um Korrosion zu unterbinden oder die Korrosionsinitiierung so weit zeitlich zu verzögern, dass während der Nutzungsdauer nicht von einer relevanten Schädigung auszugehen ist:

1. Verlangsamen des Chloridtransports zur Bewehrung durch betontechnologische

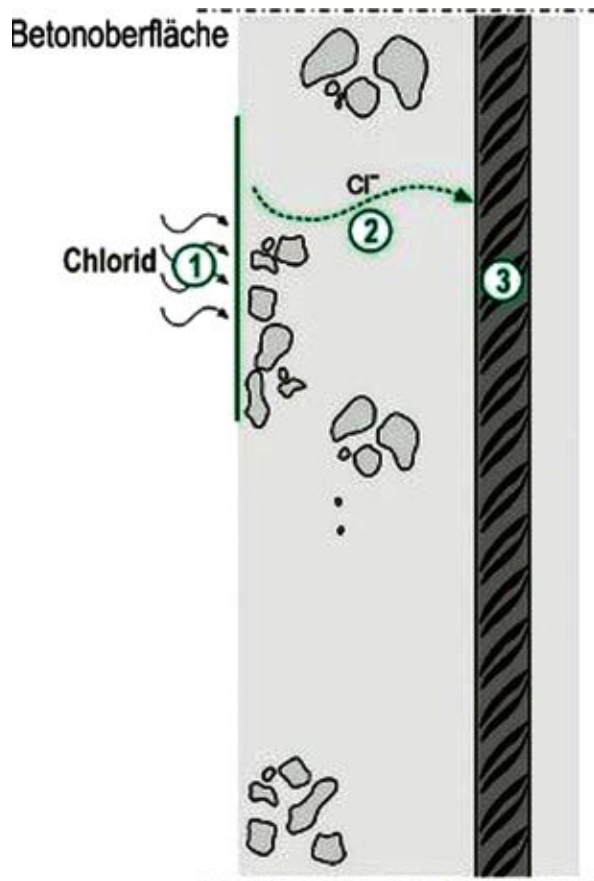


Bild 2 Mögliche Strategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit

Maßnahmen (Umsetzung im Rahmen der Ausführung),

2. Erhöhen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts durch Verwenden von Bewehrungsstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand (Umsetzung im Rahmen der Ausführung),
3. Unterbinden des Chlorideindringens in den Konstruktionsbeton durch Aufbringen eines Oberflächenschutzsystems (Tiefenhydrophobierung oder Beschichtung).

5 Lebenszykluskostenbetrachtung für verschiedene Bauteile

5.1 Allgemeines

Für die nachfolgend vorgestellte Lebenszykluskostenbetrachtung wurden Bauteile aus Verkehrs-

bauwerken herausgegriffen, an denen in der Praxis häufig Schäden auftreten:

- Brückenmittelpfeiler,
- Brückenkappe,
- Tunnelnotgehweg,
- Tunnelwand.

5.2 Definition Lebenszykluskosten

Der Lebenszyklus eines Bauteils wird als Bauteilbiografie über die vorgesehene Nutzungsdauer betrachtet. Auf Basis der in Abschnitt 4 vorgestellten Lösungsstrategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit stehen für jedes Bauteil verschiedene Ausführungsvarianten zur Verfügung. Die daraus resultierenden Instandhaltungsstrategien verlaufen je nach Variante unterschiedlich. Bild 5 zeigt exemplarisch die Bauteilbiografie von drei verschiedenen Varianten:

- Variante 1: keine präventive Maßnahmen, d. h. ohne Einsatz von nichtrostender Bewehrung oder von Oberflächenschutzsystemen,
- Variante 2: Oberflächenschutzsystem (Lösungsstrategie 1),
- Variante 3: Nichtrostende Bewehrung (Lösungsstrategie 3).

100 % Abnutzung des Stahlbetons entspricht in Bild 3 dem Erreichen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts auf Bewehrungshöhe.

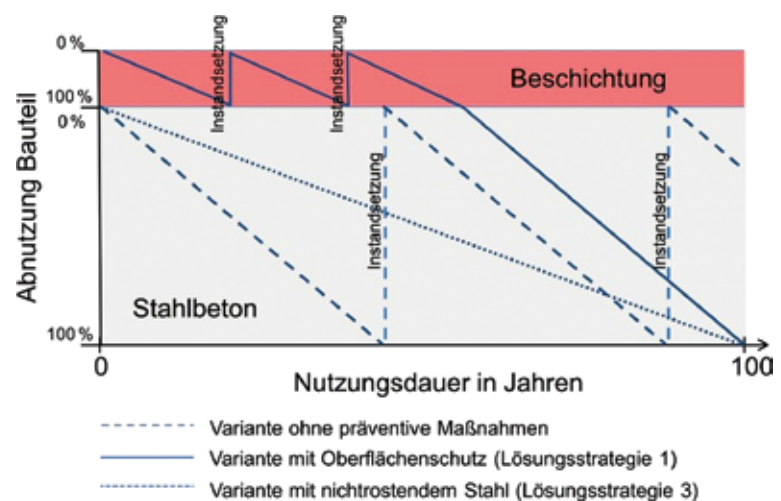


Bild 3 Schematische Darstellung betrachteter Instandhaltungsstrategien

In Abhängigkeit der jeweiligen Bauteilbiografie unterscheiden sich damit zusätzlich zu den Kosten der Erstherstellung auch die im Zuge eines Lebenszyklus anfallenden Kosten der Instandhaltung. Die Summe der Kosten für Erstherstellung und Instandhaltung entspricht hier den Lebenszykluskosten.

Die durchgeführte Lebenszykluskostenbetrachtung umfasst einen Vergleich der Kosten für verschiedene Varianten. Betrachtet werden die jeweiligen Mehrkosten während Herstellung und Nutzung des jeweiligen Bauteils:

- ❑ **Herstellung:** Referenz ist hier die kostengünstigste Variante ohne präventive Maßnahmen (unlegierte Bewehrung ohne Oberflächenschutzmaßnahmen). Darüber hinausgehende Aufwendungen sind Mehrkosten (z. B. Mehraufwendungen für Material und ggf. Ausführung: Oberflächenschutzsystem, nichtrostende Bewehrung, ggf. Installation eines Monitoring-Systems).
- ❑ **Nutzung:** Alle anfallenden Kosten während der Nutzung werden als Mehrkosten berücksichtigt, z. B. Auslesen eines Monitoringsystems, Instandsetzung, Abbruch, Neubau.

Rückbaukosten etc. nach Ende der Nutzungsdauer werden nicht berücksichtigt. Die Kostenermittlung erfolgte anhand von bepreisten Leistungsverzeichnissen diverser vergleichbarer Infrastrukturprojekte. In die Lebenszykluskosten werden keine ökologisch-, sozial- oder volkswirtschaftlich-bedingten Folgekosten eingerechnet.

5.3 Randbedingungen und Varianten

5.3.1 Betonzusammensetzung

Für alle betrachteten Bauteile wird als Bindemittelkombination ein CEM II/B-S angesetzt. Für die in der Regel massigen Bauteile Brückenpfeiler und Tunnelwand wird die Zugabe von rd. 30 kg/m³ Flugasche berücksichtigt. Der w/z-Wert wird nach DIN-Fachbericht 100:2010 [12] entsprechend der Expositionsklasse XD3 mit w/z = 0,45 angesetzt und ist damit etwas geringer als nach ZTV-ING [13] für die betrachteten Bauteile üblich (w/z = 0,50).

5.3.2 Betrachtete Bewehrungsstähle

Folgende Betonstahlsorten werden im Rahmen der Lebenszykluskostenberechnung eingesetzt:

- ❑ unlegierter Bewehrungsstahl,
- ❑ ferritischer nichtrostender Stahl mit einem Chromgehalt > 12 % und gebeizt, Werkstoffnummer 1.4003 (Top12-Stahl), vgl. a. [14], [15],
- ❑ austenitischer bzw. ferritisch-austenitischer nichtrostender Stahl, z. B. Werkstoffnummern 1.4571 (aust.), 1.4362, 1.4462 (ferr.-aust. bzw. Duplex), im Weiteren Edelstahl mit Korrosionswiderstand (KWK) ≥ III genannt. *(Anmerkung: Die Bezeichnung Edelstahl wird in der Stahlbetonbauweise umgangssprachlich für nichtrostende Stähle und Bewehrungsstähle mit KWK ≥ III mit den Werkstoffnummern 1.4571, 1.4362, 1.4462 verwendet.)*

5.3.3 Betrachtete Beschichtungssysteme

Im Rahmen der Lebenszykluskostenbetrachtung werden Oberflächenschutzsysteme betrachtet, die derzeit baupraktisch zur Anwendung kommen. Dies sind für vertikale und horizontale Bauteile OS-A-Systeme sowie für vertikale Bauteile OS-B-Systeme, vgl. auch [13]. Als OS-A-System werden in der vorliegenden Studie ausschließlich Tiefenhydrophobierungen betrachtet, da diese das Eindringen von Chloriden wirksam unterbinden, vgl. [16]. Diese Tiefenhydrophobierungen müssen als Cremes oder Gele auf Silanbasis einen Wirkstoffgehalt von mindestens 80 % aufweisen. Da der Einsatz von Tiefenhydrophobierungen derzeit noch keine Regelanwendung ist (z. B. auch in der Rili-SIB [17] noch nicht als Oberflächenschutzmaßnahme im Spritzwasserbereich aufgeführt) und keine optische Kontrolle der Wirksamkeit möglich ist (transparent), sollte bei Einsatz einer Tiefenhydrophobierung zur Überprüfung der Wirksamkeit ein Monitoring-System installiert werden.

Obwohl OS-B-Systeme keinen wirksamen Schutz vor Chloriden im Spritzwasserbereich darstellen, werden sie in die Lebenszykluskostenbetrachtung mit aufgenommen, da sie derzeit häufig zur Anwendung kommen.

5.3.4 Zusammenstellung der Varianten

Eine Zusammenstellung aller untersuchten Varianten ist Bild 4 zu entnehmen.

5.4 Lebensdauerberechnung

5.4.1 Allgemeines

Die Anzahl der zu durchlaufenden Instandhaltungs- bzw. Lebenszyklen im Verlauf der Nutzungsdauer wird bestimmt durch den

Bauteil (Nutzungsdauer)	Brückenkappe (50 Jahre)	Mittelpfeiler Straßenbrücke (100 Jahre)	Tunnelnotgehweg (50 Jahre)	Tunnelwand (100 Jahre)
Erstherstellung	Stahl		Stahl	
	Unlegierter Stahl $C_{crit} = 0,6 \text{ M.-%/z}$	Top12 (1.4003) $C_{crit} = 1,8 \text{ M.-%/z}$	Edelstahl (z.B. 1.4571)	
Bindemittel	CEM II/B-S, ggf. mit 30 kg/m ³ Flugasche		CEM II/B-S, ggf. mit 30 kg/m ³ Flugasche	
	unabhängig von der Bindemittelart		unabhängig von der Bindemittelart	
Oberflächen-schutz	ohne OS-System	Tiefenhydrophobierung oder ggf. OS-B-System	ohne OS-System	ohne OS-System
	Zusätzliche Maßnahmen im Rissbereich vorsehen?			
Instandsetzung	Abbruch/Neubau oder Betoninstandsetzung	Erneuerung OS-System	Keine Maßnahmen erforderlich	Keine Maßnahmen erforderlich
	Keine Maßnahmen erforderlich			
Varianten	K-US-0-A/N Pf-US-0-I TNG-US-0-A/N TW-US-0-I	K-US-TH-0 Pf-US-TH-0 Pf-US-OSB-0 TNG-US-TH-0 TW-US-TH-0 TW-US-OSB-0	K-T12-0-0 Pf-T12-0-0 TNG-T12-0-0 TW-T12-0-0	K-ES-0-0 Pf-ES-0-0 TNG-ES-0-0 TW-ES-0-0

Bild 4 Darstellung der untersuchten Varianten

Zeitraum, den ein unbeschichtetes Bauteil einem Chloridangriff widerstehen kann. Dieser Zeitraum wurde auf Basis von vollprobabilistischen Lebensdauerberechnungen [18] für das ungerissene Stahlbetonbauteil ermittelt. Als Sicherheitsniveau wurde nach [19] der üblicherweise für Bauteile der Expositions-klasse XD3 zu verwendende Zuverlässigkeitsindex $\beta = 0,5$ gewählt, welcher mit einer Wahrscheinlichkeit der Depassivierung der Bewehrung $p_f = 31\%$ korreliert. Eine regelmäßige Inspektion wird vorausgesetzt.

Zur Berücksichtigung des höheren korrosionsauslösender Chloridgehalts von Top12-Stahl wurde im Modell der Parameter „kritischer Chloridgehalt“ im Vergleich zu unlegiertem Stahl verdreifacht [14].

Für Edelstahl mit KWK \geq III wurden keine Lebensdauerberechnungen durchgeführt, da hier definitionsgemäß keine chloridinduzierte Bewehrungskorrosion auftritt.

Die anvisierte Lebensdauer von Notgehwegen und Kappen beträgt 50 Jahre und die von Pfeilern und Tunnelwänden 100 Jahre.

5.4.2 Ermittlung von Oberflächenkonzentrationen

Gemäß fib-Bulletin 76 [20] sind für die hier betrachtete Expositions-klasse XD3 mittlere Oberflächenchloridkonzentrationen $C_{s,\Delta x}$ zwischen 2,0 und 4,0 M.-%/z anzusetzen. Genauere Vorgaben für die aktuell betrachteten Bauteile werden dort nicht festgelegt. Rahimi [21] setzt in seiner Dissertation die Obergrenze für die Oberflächenchloridkonzentration von XD3-Bauteilen auf Basis von Erfahrungswerten zu 5,0 M.-%/z.

Um für die im Rahmen der vorliegenden Studie betrachteten Bauteile die tatsächlich in der Praxis vorkommenden Oberflächenchloridkonzentrationen zu bestimmen, wurden Chloridprofile, gemessen an Tunnelwänden, Tunnelnotgehwegen, Brückenpfeilern und Brückenkappen, nach BAW-Merkblatt MDCC [10], ausgewertet. Für Tunnelbauwerke wurden im Vergleich zu den zuvor genannten Vorgaben des fib-Bulletin 76 [20] verhältnismäßig hohe Oberflächenchloridkonzentrationen errechnet. In den hier durchgeführten Berechnungen wird deshalb für Tunnelwände im Mittel $C_{s,\Delta x} = 4,0 \text{ M.-%/z}$ angesetzt und für Tunnelnotgehwege $C_{s,\Delta x} = 5,0 \text{ M.-%/z}$.

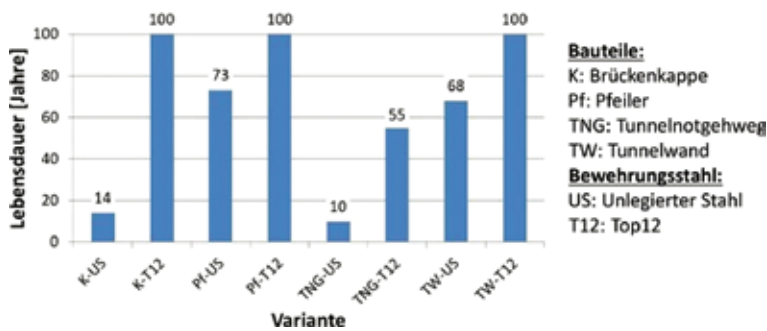


Bild 5 Darstellung der untersuchten Varianten

An Brückenbauwerken wurden insgesamt niedrigere Oberflächenkonzentrationen ermittelt als in Tunnelbauwerken. Für Pfeiler entlang stark befahrener Straßen wird im Mittel rd. $C_{s,\Delta x} = 3,0 \text{ M.-%/z}$ und für Brückenkappen $C_{s,\Delta x} = 3,5 \text{ M.-%/z}$ angesetzt.

5.4.3 Ergebnisse der Lebensdauerberechnung

Bei Verwendung von unlegiertem Bewehrungsstahl und Berücksichtigung des Zuverlässigkeitsniveaus von $\beta = 0,5$ liegt die errechnete Lebensdauer der betrachteten Bauteile mit unlegiertem Bewehrungsstahl unter der angestrebten Nutzungsdauer von 100 Jahren, vgl. Bild 5. Zusätzliche Maßnahmen sind deshalb zur Sicherstellung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit erforderlich.

Nach Ablauf der rechnerischen Lebensdauer (Erreichen des Grenzzustandes der Depassivierung der Bewehrung bei Ansatz eines Zuverlässigkeitsindex von $\beta = 0,5$ bei XD3) muss demnach eine Instandsetzungsmaßnahme eingeleitet werden. Alternativ kann die Lebensdauer durch den präventiven Auftrag und die regelmäßige Erneuerung eines Oberflächenschutzsystems verlängert werden.

Bei Einsatz eines Top12-Stahls oder auch bei einem Edelstahl mit $KWK \geq III$ wird der Grenzzustand der Depassivierung vor Ablauf der angestrebten Nutzungsdauer rechnerisch nicht erreicht. Zusätzliche Oberflächenschutz- oder Instandsetzungsmaßnahmen sind beim Einsatz von nichtrostendem Bewehrungsstahl somit nicht erforderlich.

5.4.4 Zeitpunkt des Abbruchs bzw. der Instandsetzung des Bauteils

Für die Bauteile Brückenpfeiler und Tunnelwand wurde die Annahme getroffen, dass nach Ablauf der rechnerischen Lebensdauer Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet werden (relevant für die Varianten mit unlegiertem Stahl). Im Gegensatz dazu werden Kappen und

Tunnelnotgehwege häufig nicht instand gesetzt, sondern im Rahmen der Abdichtungserneuerung der Fahrbahn abgebrochen und neu gebaut. Dabei wird in der Praxis bis zum Abbruch ein über den im Rahmen der Lebensdauererbemessung definierten Grenzzustand (Depassivierung der Bewehrung) hinausgehendes Maß an Korrosion in Kauf genommen. Für diese Bauteile wird daher ein Zeitzuschlag von rd. 7 Jahren vom rechnerischen Ende der Lebensdauer bis zum Abbruch vorgenommen. Der Zeitzuschlag wurde auf Basis von Erfahrungswerten ermittelt.

5.4.5 Lebensdauern Oberflächenschutzsysteme

Für die betrachteten Oberflächenschutzsysteme werden die folgenden Lebensdauern angesetzt:

- Tiefenhydrophobierung mit Monitoringsystem: 15 Jahre,
- OS-B-System: 10 Jahre.

Nach Ablauf dieser Lebensdauern müssen die Oberflächenschutzsysteme überarbeitet bzw. erneuert werden. Das Monitoringsystem, welches im Fall der Tiefenhydrophobierung Berücksichtigung findet, wird bei Bauteilherstellung installiert und dann über die angesetzte Lebensdauer der Tiefenhydrophobierung jährlich ausgelesen und 5-jährlich bewertet.

5.5 Kostenermittlung

5.5.1 Allgemeines

Die Preise, welche der Kostenermittlung zugrunde gelegt wurden, sind mittlere Nettopreise und umfassen auch mit der Maßnahme verbundene Nebenarbeiten, wie z. B. Untergrundvorbereitung, Baustelleneinrichtung usw. Da die Preise je nach Objekt und Größe der bearbeiteten Fläche deutlich schwanken können, sollte der Variantenvergleich als orientierend betrachtet werden.

Bezugswert bei der Stahlkostenermittlung ist der unlegierte Bewehrungsstahl mit 1.000 €/t ohne Einbau. Für Edelstahl mit $KWK \geq III$ wurde ein Kostenfaktor von 7 angesetzt (Mehrkosten von Edelstahl mit $KWK \geq III$ im Vergleich zu unlegiertem Stahl rd. 6.000 €/t). Für Top12 wurde ein diesbezüglicher Kostenfaktor von 4,5 angesetzt (Mehrkosten Top12-Stahl im Vergleich zu

unlegiertem Stahl von rd. 3.500 €/t). Kosten für den Einbau wurden nicht gesondert berücksichtigt, da für alle Stahlsorten von gleichen Einbaukosten ausgegangen werden kann.

Bei der Kostenermittlung wurden die präventiven Maßnahmen (Top12-Stahl bzw. Edelstahl mit KWK ≥ III, Oberflächenschutzsysteme) bis in eine Höhe von rd. 5 m berücksichtigt. Kosten für die Behandlung von Rissen wurden nicht angesetzt. Die angesetzten Nettopreise können [22] entnommen werden.

5.5.2 Zinsen- und Kostensteigerung bei zukünftigen Aufwendungen

Zukünftige Zinsen- und Kostensteigerungen können bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand der sogenannten Barwert-Methode berücksichtigt werden. Die „Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken“ vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [23] wurde als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen herangezogen. Nach dieser Methode können zukünftige Ausgaben für die Instandhaltung in der Gegenwart, also zum heutigen Zeitpunkt, bewertet werden. Wenn z. B. in zehn Jahren ein Betrag x ausgegeben werden muss, wird zum jetzigen Zeitpunkt ein geringerer Rücklagenbetrag benötigt, da dieser in den zehn Jahren einen gewissen Zinsertrag (Zins und Zinseszins) erwirtschaftet, der vom Betrag x abgezogen werden kann. Ebenso ist jedoch davon auszugehen, dass zukünftige Instandsetzungskosten infolge Inflation teurer werden. Beide Faktoren werden mit nachfolgender Gleichung berücksichtigt:

$$K_M = K_{M,E} + \sum_{t=1}^n (K_{t,i} + K_V) \cdot q_1^{-t} \cdot q_2^{-t}$$

Mit

K_M Summe Mehrkosten;

$K_{M,E}$ Mehrkosten Erstherstellung;

$K_{t,i(i=1...n)}$ Kosten zum Zeitpunkt t infolge Beschichtungs- bzw. Instandsetzungsarbeiten etc. (n = Anzahl der Maßnahmen);

K_V Kosten für Verkehrssicherung infolge von Instandsetzungsarbeiten (Beschichtung, Betoninstandsetzung);

q_1 Zinsfaktor Kapitalisierung $q_1 = 1,03$;

q_2 Zinsfaktor Teuerung $q_2 = 1,02$;

$t_{i(i=1...n)}$ Zeitpunkte der Maßnahmen im Verlauf der vorgesehenen Nutzungsdauer (Beschichtung, Monitoring, Instandsetzung) nach Erstherstellung in Jahren (n = Anzahl der Maßnahmen).

Die Kosten für die Verkehrssperrung bei nachträglichen Instandsetzungsmaßnahmen liegen erfahrungsgemäß etwa im Bereich der Kosten für die Instandsetzungs- bzw. Beschichtungsmaßnahme selbst und wurden ebenfalls mit eingerechnet. Eine Ausnahme bildet die Erneuerung der Oberflächenschutzsysteme. Hier wird davon ausgegangen, dass die Erneuerung der Tiefenhydrophobierung im Rahmen von einer, die Erneuerung des OS-B-Systems im Rahmen von zwei Tagesbaustellen erfolgen kann. Die Sicherung einer Tagesbaustelle am Pfeiler wurde mit rd. 2.000 € angesetzt.

5.5.3 Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnung

In Bild 6 sind die Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen für eine geplante Nutzungsdauer von 50 bzw. 100 Jahren zusammengestellt. Da ein Absolutkostenvergleich bei der angewandten Barwert-Methode nicht unbedingt praxisgerecht wäre und es im Wesentlichen auf den relativen Vergleich ankommt, wurden die Lebenszykluskosten auf die in vielen Fällen wirtschaftlichste Variante (hier Top12-Stahl) normiert.

Die Ergebnisse der Lebenszyklusberechnungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Verzicht auf präventive Maßnahmen (unlegierter Stahl, kein Oberflächenschutz)
 - Diese Variante hat für alle Bauteile die höchsten Lebenszykluskosten zur Folge.
- Vergleich Top12-Stahl mit unlegiertem Stahl ohne Oberflächenschutzmaßnahmen
 - Top12-Stahl hat deutlich geringere Lebenszykluskosten, insbesondere bei niedrigem Bewehrungsgehalt.
- Vergleich Top12-Stahl mit Edelstahl
 - Die Lebenszykluskosten für eine Top12-Stahl-Bewehrung sind um rd. 40 % niedriger.
- Vergleich Top12-Stahl mit unlegiertem Stahl mit Oberflächenschutzmaßnahmen

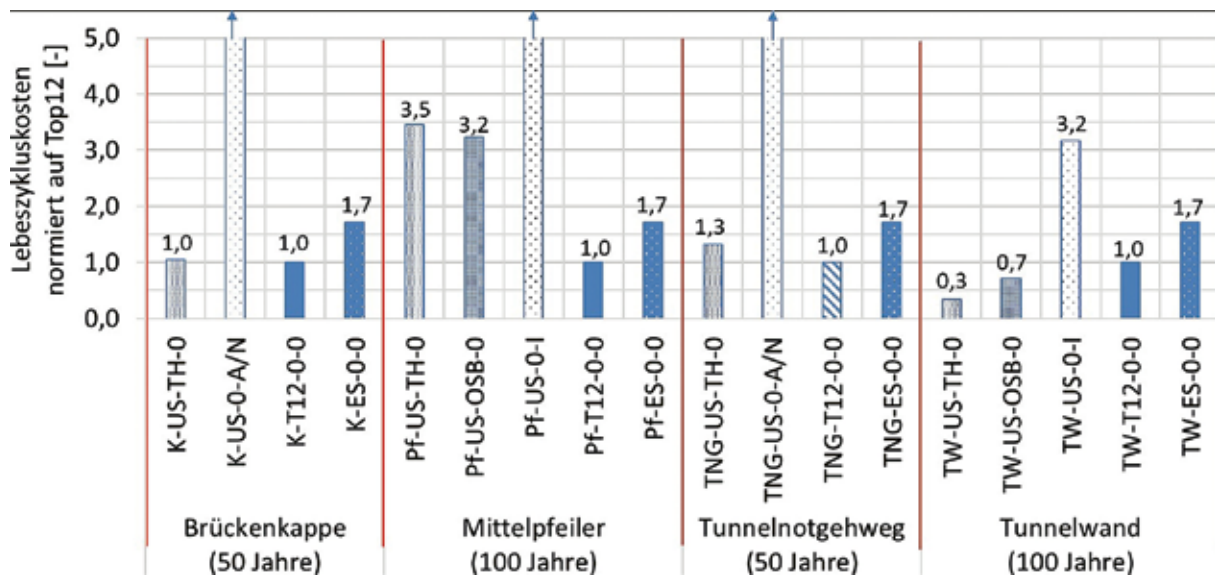


Bild 6 Darstellung der untersuchten Varianten

- Bei Bauteilen mit kleinen Betonflächen (Pfeiler) ist die Variante mit Top12-Stahl günstiger.
- Bei Bauteilen mit niedrigen Bewehrungsgehalten (z. B. Brückenkappen) liegen die Lebenszykluskosten in etwa in der gleichen Größenordnung.
- Bei Bauteilen mit sehr niedrigen Bewehrungsgehalten (z. B. Tunnelnotgehwegen) ist die Variante mit Top12-Stahl etwas günstiger.
- Bei hochbewehrten Bauteilen mit großen Betonflächen, wie z. B. Tunnelinnenwänden, ist die Variante mit unlegiertem Bewehrungsstahl und OS-System günstiger.

5.5.4 Baupraktische Gesichtspunkte

Neben der Dauerhaftigkeit und den Mehrkosten sollten für eine abschließende Bewertung auch baupraktische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Hier bieten die nichtrostenden Betonstähle (Top12 oder Edelstahl mit KWK \geq III) gegenüber den Oberflächenschutzsystemen Vorteile:

- OS-B-Systeme haben in der Praxis nur eine geringe Dauerhaftigkeit bewiesen. Es hat sich gezeigt, dass diese Systeme eine hohe Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Bedingungen (Mindesttemperatur, Taupunkttemperatur und Oberflächenfeuchte) haben und sie sich deshalb häufig nach nur kurzer Zeit ablösen. Außerdem ist die Chloridrichtigkeit dieser Systeme als vergleichs-

weise niedrig einzustufen, sodass in der Regel bereits vor Ablauf der angesetzten Lebensdauer des OS-B-Systems Chloride in den Beton eindringen.

- Tiefenhydrophobierungen können ebenfalls nur bei bestimmten klimatischen Bedingungen aufgetragen werden, die Anforderungen sind aber niedriger und somit leichter einzuhalten als für OS-B-Systeme.
- Die dauerhaftkeitsrelevanten Eigenschaften bei nichtrostenden Betonstählen werden unabhängig von der Ausführung auf der Baustelle erreicht. Bei Oberflächenschutzsystemen ist eine gute Ausführungsqualität (Untergrundvorbereitung (OS-B-System), Auftragsmenge, Sorgfalt beim Auftrag etc.) für die Funktionalität entscheidend.

- Beim Einsatz nichtrostender Betonstähle sind bei den hier betrachteten Lebenszyklen zudem über die geplanten 50 bzw. 100 Jahre keine Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich. Demzufolge ist die Kostenermittlung bei der Planung von Varianten mit nichtrostenden Betonstählen mit deutlich geringeren Unsicherheiten behaftet als die der Planung von Varianten mit nachträglichen Instandsetzungsmaßnahmen (z. B. mit regelmäßigem Neuauftrag des OS-Systems).

Es bleibt zu bemerken, dass der in der Studie verwendete Beton einen um ca. 60 % höheren Chlorideindringwiderstand mitbringt, als der gemäß ZTV-ING [13] geforderte Stan-

Tabelle 1 Gegenüberstellung der Varianten

Kategorie	Dauerhaftigkeit			Lebenszyklus- kosten			Baupraktische Gesichtspunkte			
	Variante*	-US-TH-0	-T12-0-0	-ES-0-0	-US-TH-0	-T12-0-0	-ES-0-0	-US-TH-0	-T12-0-0	-ES-0-0
Bauteil										
Brückenkappe	+	+	++	+	+	-	-	++	++	
Singulärer Mittelpfeiler	+	+	++	0	+	-	-	++	++	
Tunnelnotgehweg	+	+	++	+	+	-	-	++	++	
Tunnelwand	+	+	++	+	0	-	-	++	++	

Bewertung: ++ sehr gut | + gut | 0 neutral | - schlecht
 * Bewehrungsstahl: US = unlegierter Stahl | T12 = Top12 | ES = Edelstahl
 Oberflächenschutz: TH = Tiefenhydrophobierung | OSB = OS-B-System
 Betoninstandsetzung: I = Instandsetzung | A/N = Abbruch/Neubau

dardbeton. Die errechnete Lebensdauer bei der Mindestanforderung würde bei < 20 Jahren liegen.

5.5.5 Abschließender Variantenvergleich und Bewertung

In der nachfolgenden Bewertung werden die Varianten mit OS-B-System aufgrund deren hohen Empfindlichkeit in Bezug auf klimatische Bedingungen, Ausführungsqualität und Chloriddichtigkeit nicht berücksichtigt. Auch die Varianten ohne präventive Maßnahmen werden nicht in eine Bewertung mit einbezogen, da die Kosten um ein Vielfaches über denen für die Varianten mit Top12-Stahl oder mit unlegiertem Stahl mit Tiefenhydrophobierung liegen.

In Tabelle 1 wird eine Bewertung der Varianten hinsichtlich der Themenbereiche Dauerhaftigkeit, Lebenszykluskosten und baupraktische Gesichtspunkte vorgenommen. Bezieht man alle betrachteten Themenbereiche in die Bewertung mit ein, so schneidet die Variante mit Top12-Stahl am besten ab.

6 Ergebnistransfer und Ausblick

Bisher wird die Dauerhaftigkeit gegenüber chloridinduzierter Bewehrungskorrosion von Brückenbauwerken in der Stahlbeton- und Spannbetonbauweise nach ZTV-ING [13] indirekt über die Zuweisung bestimmter Betondeckungen sowie Expositionsclassen und damit verbundenen Anforderungen an die Betonzusammensetzung berücksichtigt. Zahlreiche Schäden zeigen aber, dass für besonders stark

beanspruchte Bauteile wie z. B. Brückenmittelpfeiler, Brückenkappe, Tunnelnotgehweg und Tunnelwand weitere Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Dauerhaftigkeit über eine derzeit 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 und volkswirtschaftlicher Sicht sehr aufwendige Instandsetzungen an stark frequentierten Verkehrsbauwerken vermieden bzw. minimiert werden.

Literatur

- [1] Schießl-Pecka, A.; Willberg, U.; Müller, G.; Gehlen, Ch.: 100 Jahre Dauerhaftigkeit für Brücken- und Tunnelbauwerke. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 28. Dresdner Brückenbausymposium – Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken am 12./13.3.2018 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, S. 157–168
- [2] Schießl, P.; Mayer, T. F.: Lebensdauer-managementsystem – Teilprojekt A2. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Schriftenreihe des DAfStb, Heft 572, Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Berlin: Beuth, 2007, S. 49–100

- [3] Heiß, N.; Fischer, O.; Hierl, M.; Seidl, G.: Straßenbrücke ohne Belag und Abdichtung. In: DBV (Hrsg.): Tagungsband Deutscher Bautechnik-Tag 2015, 23.04.2015 in Stuttgart, 2015, S. 105–106
- [4] Willberg, U.; Schneck, U.; Schießl-Pecka, A.: A 96 Tunnel Eching und Ettersschlag Alternative Betoninstandsetzung. In: Schäfer, F. (Hrsg.): Tagungsband zum Kolloquium Straßenbau in der Praxis am 29./30.1.2019 in Esslingen, Technische Akademie Esslingen, 2019, Beitrag angenommen.
- [5] DIN EN 1992-1-1:2011, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [6] DIN-Fachbericht 100:2010-03: Beton – Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.
- [7] Gehlen, Ch.; v. Greve-Dierfeld, S.: Performance-based durability design, carbonation, Part 1 – Benchmarking of European present design rules. *Structural Concrete* (2016) 3, S. 309–328
- [8] Gehlen, Ch.; v. Greve-Dierfeld, S.: Performance-based durability design, carbonation, Part 2 – Classification of concrete. *Structural Concrete* (2016) 4, S. 523–532
- [9] Gehlen, Ch.; v. Greve-Dierfeld, S.: Performance-based durability design, carbonation, Part 3 – PSF approach and a proposal for the revision of deemed-to-satisfy rules. *Structural Concrete* (2016) 5, S. 718–728
- [10] Bundesanstalt für Wasserbau (BAW, Hrsg.): BAW-Merkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC). Ausgabe 2017
- [11] Mayer, T. F.; Schießl-Pecka, A.: Lösungsstrategien zur Chloridbelastung in Straßentunneln. Tagungsunterlagen zur VSVI-Tagung 2017, 25.1.2017 in Garching, 2017
- [12] DIN-Fachbericht 100:2010: Beton - Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [13] ZTV ING:2017: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten
- [14] v. Greve-Dierfeld, S.; Bisschop, J.; Schiegg, Y.: Nichtrostende Bewehrungsstähe zur Verlängerung der korrosionsfreien Lebensdauer von Stahlbetonbauwerken. *Beton- und Stahlbetonbau* 112 (2017) 9, S. 601–610 – DOI: 10.1002/best.201700038
- [15] Schießl-Pecka, A.; Rausch, A.; Zintel, M.; Linden, Ch.: Brückenmittelpfeiler – Optimierte Lebenszykluskosten für 100 Jahre Dauerhaftigkeit. In: Schäfer, F. (Hrsg.): Tagungsband zum Kolloquium Straßenbau in der Praxis am 29./30.1.2019 in Esslingen, Technische Akademie Esslingen, 2019 (Beitrag angenommen)
- [16] Schießl-Pecka, A.; Buschmeier, S.: Einsatz von Hydrophobierungen nach dem Gelbdruck der Instandhaltungs-Richtlinie – Praxisbeispiele und Vorgehen aus der Perspektive des Planers. Raupach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 6. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken am 22./23.01.2019 in Esslingen, Technische Akademie Esslingen, 2019 (Beitrag angenommen)
- [17] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (RIL-SIB 2001). Ausgabe 2001
- [18] Federation internationale du beton (fib, Hrsg.): Bulletin 34 – Model Code for Service Life Design. Lausanne (Schweiz), 2006
- [19] Positionspapier des DAfStb zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1, Anhang J
- [20] Federation internationale du beton (fib, Hrsg.): Bulletin 76 – Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards. State-of-the-art report. Lausanne (Schweiz), 2015
- [21] Rahimi, A.: Semiprobabilistisches Nachweiskonzept zur Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauteilen unter Chlorideinwirkung. Diss., TU München, 2016
- [22] Schießl-Pecka, A.; Rausch, A.: Top12, Fa. Swiss Steel – Lebenszykluskostenbetrachtung. Gutachterliche Stellungnahme 16-192/1.1.3 vom 26.7.2018, Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat, München
- [23] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, Hrsg.): RI-WI-BRÜ – Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken. Berlin, 2004

-
- 9 Herzlich willkommen zum 29. Dresdner Brückenbausymposium
 - 13 Verleihung der Wackerbarth-Medaille
 - 14 Laudatio für Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke aus Anlass
der Verleihung der Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen
 - 17 Christian Menn – Brückenbauer, Lehrer, Ästhet
 - 25 Aktuelles zum Regelwerk des Bundes für den Ingenieurbau
 - 29 Die Maputo-Katembe-Brücke, das neue Wahrzeichen Mosambiks –
Drei Bauverfahren bei der längsten Hängebrücke Afrikas
 - 47 Monitoring und Visualisierung im Infrastrukturbau
 - 59 Verkehrsinfrastruktur für Hamburg –
Neubau der Waltershofer Brücken im Hamburger Hafen
 - 73 Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung
von neuen Verfahren im Brückenbau
 - 85 Stahlverbund-Großbrücken mit oberliegender Fahrbahn
als Querschnitte mit Teilfertigteilen und Schrägstreben bzw. Konsolen
 - 101 Kurt Beyers Beitrag zur Baustatik
 - 129 Nachrechnungsdefizite bei Massivbrücken –
Ein Problem der Tragfähigkeit oder [doch nur] der Modellvorstellung?
 - 149 Was tun, wenn Annahmen und Wirklichkeit nicht übereinstimmen?
 - 161 Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile
von Brücken- und Tunnelbauwerken
 - 173 Dauerhafte und wirtschaftliche Straßenbrücken
mit Halffertigteilen aus vorgespanntem Carbonbeton
 - 185 Der 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze und seine Konsequenzen
 - 197 Chronik des Brückenbaus
 - 209 Inserentenverzeichnis