

Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile in Parkbauten

Dr. Angelika Schießl-Pecka
Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München, Deutschland

Anne Rausch
Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München, Deutschland

Dr. Marc Zintel
Swiss Steel AG, Emmenbrücke, Schweiz

Christian Linden
Swiss Steel AG, Emmenbrücke, Schweiz

Zusammenfassung

Parkbauten sind während des Betriebs in der Regel hohen Chloridbelastungen ausgesetzt, die aus den im Winter mit den Fahrzeugen eingeschleppten Tausalzen resultieren. Die Chloride dringen in den Beton ein und tragende Bauteile wie Fundamente, Stützen und Zwischendecken werden in der Folge zunehmend durch chloridinduzierte Bewehrungskorrosion geschädigt. Die resultierende, notwendige Instandsetzung ist häufig sehr kostenintensiv. Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) hat diesbezüglich reagiert und in seinem Merkblatt für Parkhäuser und Tiefgaragen [1] zahlreiche Maßnahmen empfohlen, durch welche die Dauerhaftigkeit der betroffenen Stahlbetonbauteile erhöht werden kann. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Kosten der verschiedenen Varianten nach DBV Merkblatt über den kompletten Lebenszyklus betrachtet, um dem Bauherren in monetärer Hinsicht eine Entscheidungshilfe zu bieten.

Im Einzelnen werden für ausgewählte Bauteile verschiedene Ausführungsvarianten (Verzicht auf präventive Maßnahmen, Applikation von Oberflächenschutzsystemen, Verwendung von nichtrostender Bewehrung (Top12-Stahl der Swiss Steel AG)) bzw. Instandhaltungsstrategien (Herstellung, Wartung, Erhaltung/Instandsetzung) über die angestrebte Nutzungsdauer erarbeitet. Anschließend werden für diese Varianten Lebensdauerberechnungen und Lebenszykluskostenbetrachtungen durchgeführt. Für eine abschließende Bewertung der betrachteten Bauteilvarianten werden neben den Lebenszykluskosten auch die Themenbereiche „Dauerhaftigkeit“, und „baupraktische Gesichtspunkte“ berücksichtigt.

1. Einleitung

An Stahlbetonbauteilen in Parkgaragen besteht häufig Instandsetzungsbedarf infolge chloridinduzierter Bewehrungskorrosion. Chloridhaltige Tausalze werden während der Streuperiode im Winter von den Autos in die Parkgaragen eingetragen. Infolge dessen wird der Stahlbeton von Fahr- und Parkflächen sowie aufgehenden Bauteilen, sofern nicht durch eine entsprechende Beschichtung oder Abdichtung geschützt, mit Chloriden beaufschlagt. Diese dringen durch den Beton bis zur Bewehrung vor und lösen dort Korrosionsprozesse aus. Die Instandsetzung der entstehenden Schäden ist sehr kostenintensiv.

Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) hat diesbezüglich reagiert und in seinem im Jahre 2018 aktualisierten Merkblatt für Parkhäuser und Tiefgaragen [1] zahlreiche Maßnahmen empfohlen, wie durch ein Zusammenspiel von Gefälleausbildung, Wahl der Expositionsklassen, des zum Einsatz kommenden Betons sowie Oberflächenschutzmaßnahmen die Dauerhaftigkeit der betroffenen Stahlbetonbauteile erhöht werden kann.

Aktuell stellt sich die Frage, ob der Einsatz von Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand (hier Top12 der Swiss Steel AG) eine wirtschaftliche Alternative bzw. Ergänzung zu den im DBV-Merkblatt propagierten Maßnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen in Parkbauten darstellt.

Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung werden daher zunächst Lösungsstrategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit bei Spritzwasserbeaufschlagung vorgestellt. Anschließend werden für ausgewählte Bauteile Varianten sowie zugehörige Bauteilbiografien (Herstellung, Wartung, Erhaltung/Instandsetzung) über die angestrebte Nutzungsdauer erarbeitet. Bei der Auswahl der Bauteilvarianten werden sowohl ausgewählte, im DBV-Merkblatt dargestellten Maßnahmen berücksichtigt als auch Alternativen mit Top12 vorgestellt. Abschließend werden für die Bauteilvarianten Lebensdauerberechnungen und Lebenszykluskostenbetrachtungen durchgeführt. Für eine abschließende Bewertung der betrachteten Bauteilvarianten werden die Themenbereiche „Dauerhaftigkeit“, „Lebenszykluskosten“ und „baupraktische Gesichtspunkte“ berücksichtigt.

2. Lösungsstrategien

2.1 Allgemeines

Chloridinduzierte Korrosion tritt bei Stahlbetonbauteilen auf, bei denen Chloride von der Bauteil- zur Bewehrungsfläche transportiert werden und der Chloridgehalt auf Bewehrungshöhe infolge von Aufkonzentrationen den kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt von Betonstahl überschreitet. Daraus ergeben sich drei mögliche Lösungsstrategien, um Korrosion zu unterbinden oder die Korrosionsinitiierung so weit nach hinten zu verschieben, dass während der Nutzungsdauer nicht von einer relevanten Schädigung auszugehen ist. Diese Lösungsstrategien sind in Bild 1 veranschaulicht:

1. Unterbinden des Chlorideindringens in den Konstruktionsbeton durch Aufbringen eines Oberflächenschutzsystems,
2. Verlangsamen des Chloridtransports zur Bewehrung durch betontechnologische Maßnahmen,
3. Erhöhen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts durch Verwenden von Bewehrungsstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand.

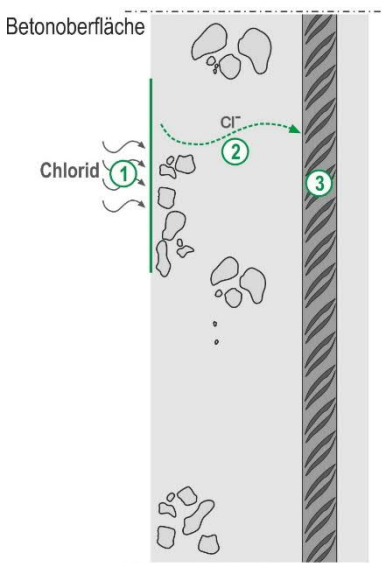


Bild 1: Mögliche Strategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit [2]

2.2 Unterbinden des Chlorideintrags

Mittels Oberflächenschutzsystemen kann ein Chlorideintrag in den Beton unterbunden werden. Gemäß DIN Fachbericht 100:2010 sind daher direkt befahrene Parkdecks aufgrund der intensiven Chloridbeaufschlagung (Expositionsklasse XD3) nur bei Ausführung zusätzlicher Maßnahmen diesbezüglich zulässig. DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015 differenziert weiter; die Einstufung in Expositionsklassen bzgl. Chlorid erfolgt für befahrene Verkehrsflächen in Abhängigkeit des geplanten Oberflächenschutzes. Dabei ist planmäßig sicherzustellen, dass kein chloridhaltiges Wasser in Risse oder

Arbeitsfugen eindringt, sofern dort kreuzende Bewehrung vorliegt.

Das Merkblatt für Parkhäuser und Tiefgaragen 2018 [1], welches den aktuellen Stand der Technik darstellt, zeigt diverse Maßnahmen des Oberflächenschutzes auf. Zum Einsatz kommen dabei Oberflächenschutzsysteme OS5b, OS8, OS10 und OS11 gemäß der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie) [3] bzw. Abdichtungssysteme nach DIN 18532 [4] mit zuverlässigem Hinterlaufschutz. Die Schutzmaßnahmen nach DBV-Merkblatt schließen nicht nur befahrene Oberflächen, sondern auch aufgehende Bauteile mit ein.

2.3 Verlangsamen des Chloridtransports durch betontechnologische Maßnahmen

Wissenschaftliche Nachweise und umfassende Praxiserfahrung haben gezeigt, dass bei nach DIN Fachbericht 100:2010 für die XD-Expositionen zulässigen, jedoch technisch ungünstigen Bindemittelzusammensetzungen (z.B. CEM I oder CEM II/A-LL ohne Zusatzstoffe, hohe w/z-Werte) die Betonmatrix einen sehr geringen Widerstand gegen eindringende Chloride aufweist. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass diese Betone im Vergleich zu günstigeren Bindemittelkombinationen größere Kapillarporen aufweisen. Im Kapillarporensystem findet im ungerissenen Beton primär der Transport von Chloriden von der Bauteiloberfläche ins Bauteilinnere statt. Dementsprechend stellen alle Maßnahmen, die eine Reduzierung des Kapillarporenanteils und eine generelle Verfeinerung der Porenstruktur bedingen, eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung des Chloridtransports dar. Betontechnologische Maßnahmen zur Reduzierung des Kapillarporenanteils sind hinlänglich bekannt und in der Literatur umfassend beschrieben, z.B. [5], [6].

Im Wesentlichen sind dies

- die Verwendung eines hüttensandhaltigen Zements,
- die Verwendung von Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff,
- die Reduzierung des Wasserzementwerts.

Der Austausch von Zementklinker durch inerte Zusatzstoffe wie z.B. Kalksteinmehl führt i.d.R. zu einer Verschlechterung des Chlorideindringwiderstandes [6].

Im normativen Regelwerk und im DBV-Merkblatt [1] sind diese Zusammenhänge derzeit noch nicht ausreichend erfasst.

2.4 Erhöhen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts durch Verwenden von Bewehrungsstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand

Durch den Einsatz nichtrostender Bewehrungsstähle kann der kritische korrosionsauslösende Chloridgehalt signifikant erhöht werden. In Deutschland wurden als

nichtrostende Betonstähle vorwiegend austenitische Stähle der Güte 1.4571 (seltener 1.4429 oder 1.4529) oder ferritisch-austenitisch Duplex-Stähle 1.4362 bzw. 1.4462 eingesetzt. Bei diesen Stahlgüten kann Korrosion bei den meisten Anwendungen unabhängig von der vorgesehenen Nutzungsdauer zielsicher ausgeschlossen werden. Allerdings beschränkt sich ihre Anwendung aufgrund des signifikant höheren Preises unverändert auf Sonderanwendungen.

Eine Alternative zu diesen austenitischen bzw. ferritisch-austenitischen nichtrostenden Betonstählen stellen nichtrostende ferritische Betonstähle mit der Werkstoffnummer 1.4003 dar. Dabei handelt es sich um einen Bewehrungsstahl mit einem Chromgehalt zwischen 10,5% und 12,5%. Preislich ordnen sich Betonstähle mit der Werkstoffnummer 1.4003 zwischen den unlegierten Betonstählen und den austenitischen bzw. ferritisch-austenitischen Stählen ein. Die Verwendung dieses Stahls führt zu einer signifikanten Erhöhung des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts C_{crit} in nicht-carbonatisiertem Beton.

Die Firma Swiss Steel vertreibt einen warmgewalzten, ferritischen Betonstahl der Sorte 1.4003 mit einem Chromgehalt $\geq 12,0\%$ unter der Bezeichnung Top12. Seit 2016 liegt für Top12 B500B NR der Fa. Swiss Steel eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung durch das DIBt für Nenndurchmesser von 8 – 14 mm vor und seit 2018 liegt zudem für Top12 B670B NR (Stabstahl) für Nenndurchmesser von 16, 20, 25 und 28 mm eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung durch das DIBt vor. Top12 wird aktuell beim Neubau von Infrastrukturprojekten immer häufiger für Bauteile verwendet, die einer hohen Chloridbeanspruchung ausgesetzt sind (z.B. Brückenpfeiler, Brückenkappen, etc.), vgl. Bild 2.



Bild 2: Einsatz von Top12 (1.4003) mit erhöhtem Korrosionswiderstand für Notgehwege

In Untersuchungen von Greve-Dierfeld et al. [7] wurde gezeigt, dass C_{crit} für Top12 im ungerissenen Bereich rd. dreimal so hoch ist wie für unlegierten Stahl. Da für unlegierten Stahl im ungerissenen Bereich in der einschlägigen Literatur, z.B. [8] der kritische korrosionsauslösende Chloridgehalt mit $C_{crit} = 0,6 \text{ M.-%/z}$ angesetzt wird, kann für Top12 $C_{crit} = 1,8 \text{ M.-%/z}$ angesetzt werden.

Aufgrund der Belüftungssituation sowie der Aufkonzentrationsmöglichkeiten liegen im Riss bzw. analog dazu in der Arbeitsfuge von ungerissem Beton abweichende Randbedingungen für Korrosion vor (andere mittlere Chloridgehalte sowie ggf. auch andere kritische korrosionsauslösende Chloridgehalte des Bewehrungsstahls). Zum kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt von Top12 im Rissbereich werden aktuell an der Hochschule München wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt. Da endgültige Ergebnisse jedoch noch ausstehen, sind auch bei einer Verwendung von Top12 Rissbereiche und Arbeitsfugen zusätzlich zu schützen.

Entgegen wiederholt geäußerter Bedenken kann Betonstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand auch als Mischbewehrung z.B. nur in der oberflächennächsten Bewehrungslage eingebaut und in den inneren Bewehrungslagen mit unlegiertem Betonstahl kombiniert werden, ohne dass hier die Gefahr von Kontaktkorrosion besteht [9].

2.5 Umsetzung der Lösungsstrategien durch das DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen [Fehler! Textmarke nicht definiert.]

Die im Folgenden betrachteten Bauteilvarianten orientieren sich aufgrund des gewollten Praxisbezugs am DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen [1]. Zwei der drei vorgestellten Lösungsstrategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit,

- Unterbinden des Chlorideindringens in den Konstruktionsbeton durch Aufbringen eines Oberflächenschutzsystems,
- Verlangsamung des Chloridtransports zur Bewehrung durch betontechnologische Maßnahmen,

werden vom DBV-Merkblatt [1] berücksichtigt, wobei das Hauptaugenmerk auf der Umsetzung der Lösungsstrategie (1) liegt. Das DBV-Merkblatt lässt unter der Voraussetzung, dass ein Chlorideindringen in Risse und Arbeitsfugen konstruktiv oder mittels Rissbandagen, Fugenschutz etc. unterbunden wird, für horizontale Bauteile folgende Varianten zu:

- Variante A: ohne flächiges Oberflächenschutzsystem, Beton der Expositionsklasse XD3, $c_{min} = 40 \text{ mm}$,
- Variante B: mit flächigem Oberflächenschutzsystem, Beton der Expositionsklasse XD1, $c_{min} = 40 \text{ mm}$,
- Variante C: mit flächiger Abdichtung und Schutzschicht, Expositionsklasse XD nicht erforderlich, $c_{min} = 20 \text{ mm}$,

Über die Festlegung der Expositionsklasse hinaus werden hinsichtlich betontechnologischer Maßnahmen keine weiteren Vorgaben gemacht. Lösungsstrategie 3 (Erhöhen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts durch Verwenden von Bewehrungsstahl mit

erhöhtem Korrosionswiderstand) wird nicht als Standardvariante umgesetzt, jedoch als mögliche Sonderlösung beschrieben. In der nachfolgend durchgeführten Lebenszykluskostenbetrachtung wird die Variantenauswahl nach DBV-Merkblatt durch Variationen des Bindemittels sowie des verwendeten Bewehrungsstahls ergänzt.

3. Lebenszyklusbetrachtung

3.1 Definition Lebenszykluskosten

Im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung wird für ausgewählte Bauteile aus dem Bereich Parkbauten ein Vergleich der Lebenszykluskosten für unterschiedliche Ausführungsvarianten (im Weiteren als Bauteilvarianten bezeichnet) durchgeführt.

Der Lebenszyklus eines Bauteils wird dabei als Bauteilbiografie über die vorgesehene Nutzungsdauer betrachtet, welche zum einen die Herstellung zu Beginn des Lebenszyklus und zum anderen die erforderliche Instandhaltung bis zum Ende der festgesetzten Nutzungsdauer umfasst. Der Lebenszyklus endet mit der zugrunde gelegten Nutzungsdauer (hier: 50 Jahre); nachfolgende Maßnahmen (Abbruch, Rückbau, Revitalisierung) werden nicht einbezogen.

Der genaue Verlauf der Bauteilbiografie hängt von der gewählten Bauteilvariante ab und damit auch von der Umsetzung der in Kapitel 2 vorgestellten Lösungsstrategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit und dem daraus resultierenden Instandsetzungsbedarf. Beispielhaft sind in Bild 3 Bauteilbiografien von drei grundsätzlich möglichen Bauteilvarianten gegenübergestellt:

- Beton der Expositionsklasse XD1, Oberflächenschutzsystem mit regelmäßiger Instandhaltung (Lösungsstrategie 1), Betoninstandsetzung nicht erforderlich,
- Beton der Expositionsklasse XD3 (teilweise Umsetzung Lösungsstrategie 2) ohne Oberflächenschutzsystem; nach Erreichen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehaltes auf Höhe der Bewehrung wird eine Betoninstandsetzung mit anschließendem Oberflächenschutz durchgeführt (Wechsel auf Lösungsstrategie 1),
- Beton der Expositionsklasse XD3 mit Top12 (Kombination der Lösungsstrategien 2 und 3), Instandhaltung nicht erforderlich (Voraussetzung: riss- und fugenfreies Bauteil).

100% Abnutzung des Stahlbetons entspricht in Bild 3 dem Erreichen des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehaltes an der Bewehrung.

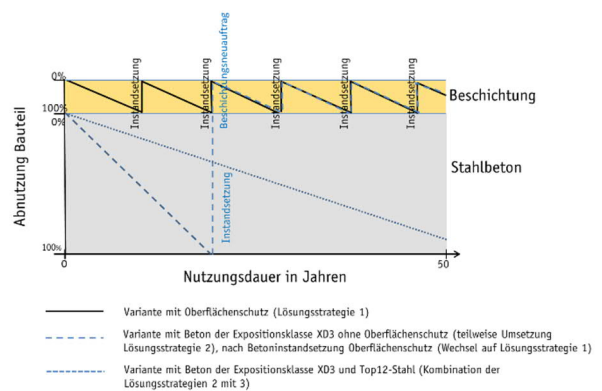


Bild 3: Schematische Darstellung möglicher Bauteilbiografien

In Abhängigkeit der jeweiligen Bauteilbiografie unterscheiden sich damit zusätzlich zu den Kosten der Herstellung auch die im Zuge eines Lebenszyklus anfallenden Kosten der Wartung und Instandhaltung. Kosten werden im Rahmen dieses Beitrags im Sinne von Ausgaben definiert [10]. Die Summe der Kosten für Herstellung, Wartung und Instandhaltung entspricht hier den Lebenszykluskosten. Betrachtet werden dabei die jeweiligen „entscheidungsrelevanten Kosten“ [11]. Die Entscheidung, die hier getroffen werden muss, lautet: „Wie wird die Dauerhaftigkeit des Stahlbetonbauteils gegenüber eindringenden Chloriden über die zugrunde gelegte Nutzungsdauer sichergestellt?“ Folglich sind entscheidungsrelevante Kosten solche, die während Herstellung und Nutzung zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit bei Tausalzexposition (XD) anfallen:

Herstellung:

Referenz ist die folgende Bauteilsituation

- mit Beton der Expositionsklasse XC4 (Frost wird nicht berücksichtigt) und einer Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30 ($w/z = 0,60$),
- mit unlegiertem Stahl,
- ohne Oberflächenschutz,

D.h. entscheidungsrelevante Kosten während der Herstellung fallen an für höhere erforderliche Betondruckfestigkeitsklassen, Expositionsklassen mit höherer Beanspruchung, alternative Bewehrungsmaterialien und Beschichtungsmaßnahmen.

Nutzung

Alle während der Nutzung anfallenden Kosten für Wartung und Instandsetzung (Beton oder Oberflächenschutz) werden als entscheidungsrelevante Kosten berücksichtigt.

Die Kostenermittlung erfolgt anhand von bepreisten Leistungsverzeichnissen diverser Bauvorhaben. In die Lebenszykluskosten werden keine ökologisch-, sozial- oder volkswirtschaftlich-bedingten Folgekosten eingerechnet.

3.2 Bauteile, Randbedingungen und verwendete Materialien

In Tabelle 1 sind die Bauteile, Randbedingungen und verwendeten Materialien dargestellt.

Tabelle 1: Bauteile, Randbedingungen und verwendete Materialien

Nutzungsdauer	50 Jahre
Bauteile	Stütze Pflasterbelag + Fundament (bewehrt) (S/Pf/Fb)
	Stütze Pflasterbelag + Fundament (unbewehrt) (S/Pf/Fub)
	Zwischendecke (ZD)*
	Stütze Zwischendecke (S/ZD)
Bewehrungsstähle	unlegiert
	ferritischer nichtrostender Stahl, Werkstoffnummer 1.4003 (Top12)
Beschichtungssysteme	OS 8 (ZD)
	Rissbandage (OS10-System versenkt) (ZD)
	OS 5b-System (nachweislich dauerhaft wasserbeständig) (S)
	Hohlkehle (Arbeitsfugen mit unl. Stahl)
Beton mind. C25/30 CEM II/A-LL	XC3: w/z = 0,60
	XC4: w/z = 0,60
	XD1: w/z = 0,55
	XD2: w/z = 0,50
	XD3: w/z = 0,45
Instandsetzungsmaßnahme (nach Ablauf Lebensdauer, vgl. Kap. 3.3.3)	Betonabtrag bis hinter die Bewehrung, nach 1. Instandsetzungsmaßnahme immer OS-System

Für die Zwischendecke wurde analog zu den anderen Bauteilen die Lebensdauerbetrachtungen für den ungerissenen Betonquerschnitt durchgeführt. Dementsprechend wurde in der Zwischendecke nur oberseitig Top12-Stahl angesetzt, unterseitig wurde unlegierter Stahl angenommen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass im Falle von Trennrissen Chloride durch den Riss an die Deckenunterseite gelangen können, sich dort u.U. innerhalb von sehr kurzer Zeit aufkonzentrieren und es in der Folge zu Abplatzungen und Bewehrungskorrosion in diesem Bereich kommen kann. Aus diesem Grund muss bei einer Verwendung von Top12 Stahl in der Zwischendecke analog zur Verwendung unlegierter Betonstähle die Rissbandage spätestens nach einem Winter appliziert werden. Die Wartung/Inspektion der Rissbandage muss ebenfalls in gleichen Abständen erfolgen wie bei unlegiertem Stahl (das heißt, bei Rissbandagen jährlich).

3.3 Lebensdauerberechnung

3.3.1 Allgemeines

Um den Zeitraum zu bestimmen, über den Stahlbetonbauteile ohne Oberflächenschutzmaßnahmen einem

Chloridangriff widerstehen können, werden nachfolgend Lebensdauerberechnungen für die unbeschichteten (und ungerissenen) Stahlbetonbauteile durchgeführt [6], [12]. Dabei wird als Grenzkriterium das Unterschreiten eines Zuverlässigkeitsindex von $\beta_0 = 0,5$ (Wahrscheinlichkeit der Depassivierung der Bewehrung $p_f \sim 31\%$) angesetzt. Dieses Zuverlässigkeitsniveau wird üblicherweise für Bauteile der Expositionsklassen XD2 und XD3 gefordert. Eine regelmäßige Inspektion wird vorausgesetzt. Die Materialwiderstände (Chloridmigrationskoeffizienten) wurden Fachveröffentlichungen entnommen [8]. Die Lebensdauer der hier betrachteten Bauteile wird im Folgenden als die Zeitspanne bis zum Unterschreiten der Mindestzuverlässigkeit definiert.

3.3.2 Chlorideinwirkung

Gemäß fib-Bulletin 76 [8] sind für die hier betrachteten Expositionsklassen XD2 und XD3 mittlere Oberflächenchloridkonzentrationen zwischen 2,0 und 4,0 M.-%/z anzusetzen. Um die tatsächlich zu erwartenden Chloridbeaufschlagungen in Parkbauten möglichst realitätsnah abbilden zu können, wurden Chloridprofile aus bestehenden Parkbauten für die einzelnen Bauteilen statistisch ausgewertet. Auf Basis dieser Ergebnisse werden für die nachfolgenden Lebensdauerberechnungen folgende Oberflächenchloridkonzentrationen $C_{S,\Delta x}$ berechnet [13] und zugrunde gelegt:

- Zwischendeckenoberseite (horizontales Bauteil): $C_{S,\Delta x} = 3,0 \text{ M.-%/z}$,
- Stützen aufgehend von der Zwischendecke sowie oberhalb des Pflasterbelags (vertikales Bauteil): $C_{S,\Delta x} = 2,5 \text{ M.-%/z}$,
- Stützen unterhalb OK Pflasterbelag und Fundamentoberseite (vertikale und horizontale Bauteile): $C_{S,\Delta x} = 1,5 \text{ M.-%/z}$.

3.3.3 Ergebnisse der Lebensdauerberechnung

Die errechneten Lebensdauern für die Bauteile Zwischendeckenoberseite, Stütze und Fundament gelten ausschließlich unter Annahme eines unbeschichteten, ungerissenen Bauteilzustandes. Die Ergebnisse zeigen, dass bei folgenden Kombinationen der Grenzzustand der Depassivierung der Bewehrung (Zuverlässigkeitsniveau $\beta = 0,5$) vor Ablauf der angestrebten Nutzungsdauer rechnerisch erreicht wird; zusätzliche Maßnahmen zur Sicherstellung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit sind hier erforderlich:

- Zwischendecke: unlegierter Bewehrungsstahl
- Stützen: unlegierter Bewehrungsstahl
- Fundamente: unlegierter Bewehrungsstahl

Bei der Verwendung von Top12 wird der Grenzzustand der Depassivierung der Bewehrung vor Ablauf der angestrebten Nutzungsdauer bei allen untersuchten Bauteilen rechnerisch nicht erreicht; zusätzliche Oberflächen-

schutz- oder Instandsetzungsmaßnahmen sind demzufolge nicht erforderlich.

3.4 Lebenszyklen der betrachteten Bauteile

Bei Bauteilen ohne Oberflächenschutz erfolgt im Rahmen der Lebenszykluskostenbetrachtung eine Betoninstandsetzung, sobald die rechnerische Lebensdauer des Bauteils nach Kapitel 3.3 abgelaufen ist. Für Planung und Ausführung der Maßnahmen zur Betoninstandsetzung wird ein Zeitrahmen von 2 Jahren angesetzt. In diesem Zeitraum finden keine Wartungsarbeiten statt. Baupraktisch wird in der Regel die Instandsetzung von Stützenfuß und Fundament in einem Arbeitsgang durchgeführt. Daher wird für die nachfolgenden Berechnungen angenommen, dass bei ungeschützten Betonoberflächen Stützen und Fundamente gemeinsam nach Ablauf der rechnerischen Lebensdauer der Stützen instand gesetzt werden.

Für die Oberflächenschutzsysteme werden auf Basis von Erfahrungswerten und Herstellerangaben folgende Lebensdauern festgelegt:

- Rissbandage: 12 Jahre,
- OS 8, OS 5b, Hohlkehle: 20 Jahre,

Die Wartungsintervalle sind im DBV-Merkblatt [1] folgendermaßen festgelegt:

- Hohlkehle, Rissbandage, OS8, OS 5b: jährlich

Im Zuge der Wartung werden kleine festgestellte Schäden laufend instandgesetzt. In den nachfolgenden Berechnungen wird daher eine jährliche Instandsetzung an 2% der Flächen mit eingerechnet. Nach Ablauf der Lebensdauern der Oberflächenschutzsysteme ist eine Überarbeitung bzw. Erneuerung erforderlich. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei regelmäßiger Wartung und Instandhaltung nach Ablauf der Lebensdauer bei Parkbauten nicht die komplette Fläche neu beschichtet werden muss. Je nach Frequentierung und Beanspruchung (Stellplatzflächen, Kurvenbereiche von Fahrstraßen) ist

- keine Überarbeitung,
- eine teilweise Überarbeitung (Erneuerung der Kopfversiegelung) oder
- ein Komplettabtrag mit anschließendem Neuauftrag erforderlich.

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde ein prozentualer Flächenanteil angesetzt, der komplett neu beschichtet wird (Abtrag, Entsorgung, Neuauftrag). Dieser berücksichtigt als Mischkalkulation alle Überarbeitungssituationen. Nicht sichtbare Flächen, z.B. unterhalb des Pflasterbelags, werden nicht instandgesetzt, da in Anlehnung an die Praxis davon ausgegangen wird, dass dort über die veranschlagte Nutzungsdauer von 50 Jahren keine Schäden (mechanisch oder alterungsbedingt) auftreten bzw. aufgrund der fehlenden Inspektion Schäden nicht festgestellt werden. Folgende

Flächenanteile werden demzufolge nach Ablauf der oben genannten Lebensdauern der Oberflächenschutzsysteme neu beschichtet:

- Zwischendeckenoberseite: 50%,
- Stützen ab Fahrbahnoberkante: 30%,
- Stützen und Fundamente unterhalb Fahrbahnoberkante: 0%.

Diese Annahmen können in der Praxis von Objekt zu Objekt stark variieren.

3.5 Kostenermittlung

3.5.1 Allgemeines

Die Preise, welche der Kostenermittlung zugrunde gelegt werden, wurden als mittlere Nettopreise aus diversen bepreisten Leistungsverzeichnissen von bereits ausgeführten Projekten ermittelt und umfassen auch mit der Maßnahme verbundene Nebenarbeiten, wie z.B. Untergrundvorbereitung, etc.. Kosten für Parkdecksperrungen infolge von Instandsetzungsmaßnahmen sind ebenso wie Kosten für die Baustelleneinrichtung nicht mit eingerechnet. Da die Preise je nach Objekt und Größe der bearbeiteten Fläche deutlich schwanken können, sollte der Vergleich der Bauteilvarianten als orientierend betrachtet werden.

Bezugswert bei der Stahlkostenermittlung ist der unlegierte Bewehrungsstahl mit 1.000 €/t ohne Einbau. Für Top12 wird ein diesbezüglicher Mehrkostenfaktor von 4,5 angesetzt (entscheidungsrelevante Kosten Top12 im Vergleich zu unlegiertem Stahl von rd. 3.500 €/t). Kosten für den Einbau werden nicht gesondert berücksichtigt, da für alle Stahlsorten von gleichen Einbaukosten ausgegangen wird.

3.5.2 Zugrunde gelegte Nettopreise

Nachfolgend werden die für das Bezugsjahr zugrunde gelegten entscheidungsrelevanten Kosten (netto) aufgelistet.

Beton in Relation zu XC4:

- XD1: 10 €/m³
- XD2 und XD3: 20 €/m³

Stahl in Relation zu unlegiertem Stahl (nur Material ohne Einbau):

- Top12: 3.500 €/t
- Zulage Stabstahl zur Matte verflechten (angesetzt bei Zwischendeckenoberseite für Top12): 210 €/t

Beschichtung inkl. Nebenarbeiten (Untergrundvorbereitung etc.):

- Hohlkehle in Verbindung mit Beschichtungsauftrag: 8 €/lfm
- Hohlkehle ohne Beschichtungsauftrag: 13 €/lfm
- OS 5b kleinflächig: 45 €/m²
- OS 8 kleinflächig: 40 €/m²
- Noppenbahn: 23 €/m²
- Rissbandage OS 10 versenkt: 120 €/lfm
- OS 8 großflächig: 35 €/m²

Wartung (Wartungsbegehung ohne Instandsetzungskosten, große Gesamtflächen vorausgesetzt):

- Flächige Beschichtungen 1,20 €/m²
- Hohlkehle: 0,90 €/Stütze

Abtrag und Entsorgung Hohlkehle bzw. Beschichtung:

- Hohlkehle: 8 €/lfm
- Rissbandage OS 10 versenkt: 25 €/lfm
- OS 5b kleinflächig: 20 €/m²
- OS 8 kleinflächig: 20 €/m²
- OS8 großflächig: 10 €/m²

Betonabtrag und Reprofilierung bis 2 cm hinter die oberflächennächste Bewehrung (einschließlich aller Nebenarbeiten):

- Stütze: 450 €/m²
- Fundamentanschluss: 45 €/lfm
- Fundament flächig: 350 €/m²
- Zwischendeckenoberseite flächig: 175 €/m²
- Zwischendeckenoberseite lokal: 225 €/m²
- Aus- und Einbau Pflasterbelag und Kiesschüttung incl. Zwischenlagern: 125 €/m²

3.5.3 Zinsen- und Kostensteigerung bei zukünftigen Aufwendungen

Zukünftige Zinsen- und Kostensteigerungen können bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand der sogenannten Barwertmethode berücksichtigt werden. Nach dieser Methode können zukünftige Ausgaben für die Instandhaltung in der Gegenwart, also zum jetzigen 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) bringt, der vom Betrag x abgezogen werden kann. Ebenso ist jedoch davon auszugehen, dass zukünftige Instandsetzungskosten infolge der Inflation teurer werden. Beide Faktoren werden in nachfolgender Gleichung berücksichtigt:

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

Mit

K_M : Summe Mehrkosten;

$K_{M,E}$: Mehrkosten Ersterstellung;

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

q_1 : Zinsfaktor Kapitalisierung $q_1 = 1,03$;

q_2 : Zinsfaktor Teuerung $q_2 = 1,02$;

t_i ($i = 1 \dots n$): Zeitpunkte der Maßnahmen im Verlauf der vorgesehenen Nutzungsdauer (Beschichtung, Monitoring, Instandsetzung) nach Ersterstellung in Jahren ($n =$ Anzahl der Maßnahmen);

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

3.6 Ergebnisse und Bewertung

3.6.1 Lebenszykluskosten für die festgelegten Bauteilrandbedingungen

Der Verhältniswert entscheidungsrelevante Lebenszykluskosten Bauteilvariante X zu Bauteilvariante mit Top12 wird vereinfachend mit „Rentabilitätsfaktor Top12“ bezeichnet. Ab einem „Rentabilitätsfaktor Top12“ $> 1,0$ ist die Bauteilvariante mit Top12 günstiger. In [15] wurden die entscheidungsrelevanten Lebenszykluskosten (Absolutwert) und der Rentabilitätsfaktor Top12 in Abhängigkeit der Zeit berechnet. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden die Ergebnisse der Berechnungen zusammengefasst:

Verzicht auf präventive Maßnahmen (unlegierter Stahl, kein Oberflächenschutz)

- Die Anfangsinvestitionen liegen bis zu rd. 50% unter den Varianten mit präventiven Maßnahmen.
- Ab dem Zeitpunkt der ersten erforderlichen Betoninstandsetzung, hier nach rd. 8 Jahren, übersteigen die Lebenszykluskosten die der Varianten mit präventiven Maßnahmen deutlich.
- Zum Bewertungsalter von 50 Jahren hat diese Bauteilvariante bei allen Bauteilen, für die sie betrachtet wurde, die höchsten entscheidungsrelevanten Lebenszykluskosten zur Folge.

Vergleich Top12 mit Oberflächenschutzmaßnahmen

- Die Anfangsinvestitionen der Bauteilvariante mit Top12 Stahl liegen bei den Bauteilen Stütze auf Zwischendecke sowie Stütze + unbewehrtes Fundament (große Verhältnisse Bewehrungsgehalt/chloridbeaufschlagte Oberfläche) tendenziell etwas höher als die der Bauteilvarianten mit OS-System. Diese Differenz wird jedoch mit zunehmendem Bauwerksalter durch Wartungs- und Instandsetzungsaufwendungen bei den Beschichtungssystemen aufgezehrt.
- Zum Bewertungsalter von 50 Jahren ist die Variante mit Top12 bei den betrachteten Bewehrungsgehalten bei allen Bauteilen günstiger.
- Bei Bauteilen mit kleinem Verhältnis Bewehrungsgehalt/chloridbeaufschlagte Oberfläche (z.B. Stütze mit oberseitig bewehrtem Fundament) ist der „Rentabilitätsfaktor Top12“ tendenziell größer als bei Bauteilen mit großem Verhältnis Bewehrungsgehalt/chloridbeaufschlagte Oberfläche (s. Tabelle 4, Vergleich gleicher Oberflächenschutzsysteme).
- Darstellung der Rentabilitätsfaktoren: Wenn der relative Kostenzuwachs der teureren Vergleichsvariante (z.B. Bild 14: ohne präventive Maßnahmen) geringer ist als bei der Variante mit Top12, nähern sich die Kurven im zeitlichen Verlauf aneinander an.

Die Ergebnisse der Berechnung der Rentabilitätsfaktoren Top12, normiert auf den Rentabilitätsfaktoren Top12 für eine Lebensdauer von 50 Jahren sind für die betrachteten Bauteile in Bild 4 dargestellt.

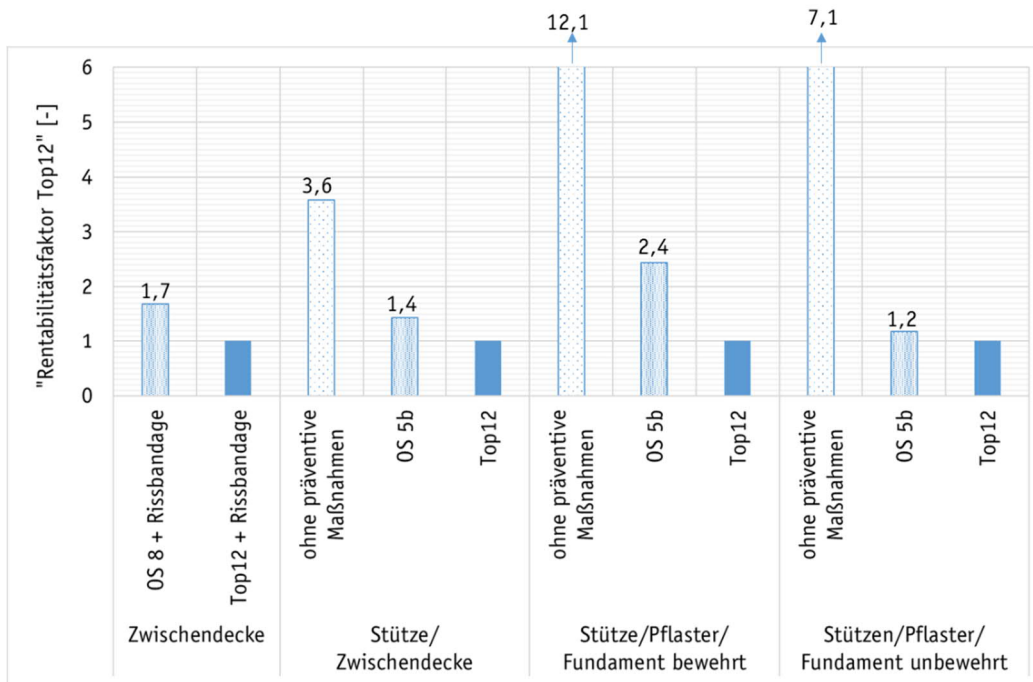


Bild 4: Bauteilspezifische Gegenüberstellung der „Rentabilitätsfaktoren Top12“ für ein Bewertungsalter von 50 Jahren

3.6.2 Baupraktische Gesichtspunkte

Neben der Dauerhaftigkeit und den entscheidungsrelevanten Lebenszykluskosten sollten bei einer abschließenden Bewertung auch baupraktische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Hier bietet der Top12 gegenüber den Oberflächenschutzsystemen weitere Vorteile:

- Unabhängigkeit von klimatischen Bedingungen beim Einbau,
- Unabhängigkeit von der Ausführungsqualität auf der Baustelle,
- geringere Beeinträchtigungen des Betriebs infolge von Wartungs-/Instandsetzungsarbeiten,
- Größere Kostensicherheit.

Zu (a)

Oberflächenschutzsysteme dürfen im Gegensatz zu Top12 nur unter bestimmten klimatischen Bedingungen appliziert werden (Beachtung des Taupunktes, Mindesttemperaturen etc.). Zwar wird auch bei Top12 ein Oberflächenschutz im Bereich von Rissen und Fugenbereichen benötigt, jedoch bietet bei einer eventuellen Undichtigkeit des Oberflächenschutzes der Top12 eine zusätzliche Sicherheit.

Zu (b)

Die dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften des Top12s werden unabhängig von der Ausführungsqualität auf der Baustelle erreicht. Bei Oberflächenschutzsystemen ist eine gute Ausführungsqualität (Untergrundvorbereitung, Auftragsmenge, Sorgfalt beim Auftrag etc.) für die Funktionalität entscheidend.

Zu (c)

Bei der Verwendung von Top12 sind bei den hier betrachteten Lebenszyklen keine Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich. Demzufolge ist die Kostenermittlung bei der Planung von Bauteilvarianten mit Top12 mit deutlich geringeren Unsicherheiten behaftet als die der Planung von Bauteilvarianten mit nachträglichen Instandsetzungsmaßnahmen (z.B. mit regelmäßigem Neuauftrag des OS-Systems).

3.6.3 Abschließender Vergleich der Bauteilvarianten

In Tabelle 2 wird eine Bewertung der Bauteilvarianten hinsichtlich der Themenbereiche „Dauerhaftigkeit“, „Lebenszykluskosten“ und „baupraktische Gesichtspunkte“ vorgenommen. Aufgrund der hohen entscheidungsrelevanten Lebenszykluskosten werden Bauteilvarianten mit erforderlicher Betoninstandsetzung dabei nicht berücksichtigt. Betreffend die Lebenszykluskosten wurden die Bewertungen folgendermaßen vorgenommen:

- „Gut“ für die Bauteilvariante, die am günstigsten war,
- „Neutral“ für die Bauteilvariante, die nicht am günstigsten war, da diese Bauteilvariante immer noch deutlich günstiger ist als die Bauteilvariante ohne präventive Maßnahmen.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Bauteilvarianten

Bauteil-variante ¹	Dauerhaftigkeit		Lebenszyklus-Kosten		Baupraktische Gesichtspunkte		Zusammenfassung	
	US mit OS-System	T12 mit RB bzw. FS	US mit OS-System	T12 mit RB bzw. FS	US mit OS-System	T12 mit RB bzw. FS	US mit OS-System	T12 mit RB bzw. FS
ZD	+	+	0	+	-	+	0	+++
S/ZD	+	+	0	+	-	+	0	+++
S/Pf/Fb	+	+	0	+	-	+	0	+++
S/Pf/Fub	+	+	0	+	-	+	0	+++
Bewertung: - schlecht; 0 neutral; + gut								
¹ T12: Top12, RB: Rissbandage, FS: Fugenschutz, US: Unlegierter Stahl								

Bezieht man alle betrachteten Themenbereiche in die Bewertung mit ein, so zeigt sich für die betrachteten Bauteilrandbedingungen folgendes Ergebnis: Die Bauteilvarianten mit Top12 schneiden für die betrachteten Bewehrungsgehalte deutlich besser ab als die Bauteilvarianten mit OS-System.

3.6.4 Sensitivitätsanalyse

In [15] wurden im Hinblick auf die Praxis der den zuvor dargestellten Betrachtungen zugrunde gelegte Bewehrungsgehalt der Bauteile (immer Bewehrungsgehalt, der durch Top12 zu ersetzen ist) variiert. Dabei wurde überprüft, wie sensibel die Ergebnisse auf eine Variation dieses Eingangsparameters reagieren. Die Ermittlung der Lebenszykluskosten erfolgt dann analog zu der in den vorausgehenden Kapiteln dargestellten Vorgehensweise für ein Bewertungsalter von 50 Jahren.

Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Bei größer werdendem Bewehrungsgehalt werden die Rentabilitätsfaktoren Top12 bzgl. OS-System kleiner. (Ursache: je größer der Bewehrungsgehalt Top12 bei gleicher zu beschichtender Oberfläche desto weniger rentabel ist der Einsatz von Top12.)
- Bei den Bauteilen Zwischendecke (ZD) sowie Stütze im gepflasterten Bereich mit bewehrtem Fundament (S/Pf/Fb) ist für alle betrachteten Bewehrungsgehalte die Bauteilvariante mit OS-System teurer als die Bauteilvariante mit Top12.
- Bei den Bauteilen Stütze aufgehend von Zwischendecke (S/ZD) sowie Stütze im gepflasterten Bereich mit unbewehrtem Fundament (S/Pf/Fub) ist – je nach Bewehrungsgehalt - entweder die Bauteilvariante mit OS-System günstiger oder die mit Top12, siehe Bild 5.

- Bei dem Bauteil S/Pf/Fb ist die ermittelte Relation zwischen dem Rentabilitätsfaktor Top12 und dem Bewehrungsgehalt Top12/chloridbeaufschlagter Bauteiloberfläche zunächst deutlich steiler als bei den übrigen Bauteilen, d.h. gleiche Änderungen Bewehrungsgehalt/chloridbeaufschlagte Bauteiloberfläche führen zu größeren Änderungen des Rentabilitätsfaktor Top12 als bei den anderen Bauteilen (Ursache: Der Großteil der zu schützenden Oberfläche liegt unter Oberkante Pflaster; aufgrund es dortigen Einsatzes der Noppenfolie sind die Beschichtungskosten verhältnismäßig hoch. Bei großen bauteilbezogenen Differenzen Beschichtungskosten – Bewehrungskosten fällt der Rentabilitätsfaktor Top12 steiler ab als bei kleinen Differenzen.)

Exemplarisch dargestellt wird in Bild 5 und in Bild 6 das finale, rechnerische Ergebnis des Bauteilvariantenvergleichs für die Stütze aufgehend von der Zwischendecke (unlegierter Stahl + Oberflächenschutzsystem OS 5b vs. Top12 mit Hohlkehle) und für die Stütze mit oberseitig bewehrtem Fundament im gepflasterten Bereich. Die Darstellung erfolgt wie zuvor gegenüber dem „Rentabilitätsfaktor Top12“. Ab einem „Rentabilitätsfaktor Top12“ > 1,0 ist die Bauteilvariante mit Top12 günstiger. Die in den vorhergehenden Betrachtungen zugrunde gelegten Verhältnisse Bewehrungsgehalt/chloridbeaufschlagte Bauteiloberfläche sind mit weißen Diagrammpunkten markiert.

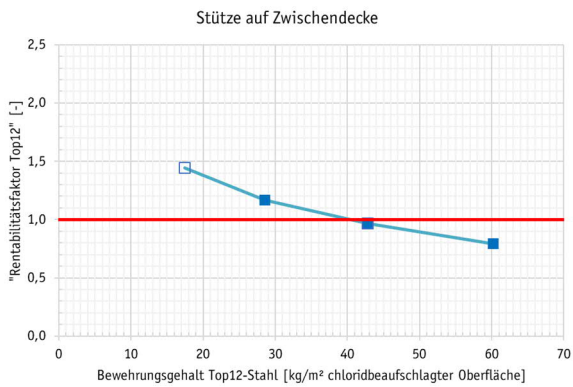


Bild 5: Stütze aufgehend von Zwischendecke: „Rentabilitätsfaktor Top12“ in Abhängigkeit des Gehaltes Top12 pro m² chloridbeaufschlagter Oberfläche

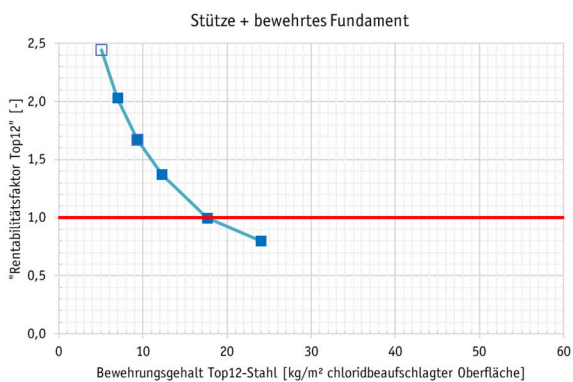


Bild 6: Stütze mit oberseitig bewehrtem Fundament im gepflasterten Bereich: „Rentabilitätsfaktor Top12“ in Abhängigkeit des Gehaltes Top12 pro m² chloridbeaufschlagter Oberfläche

3.7 Bauteil Wand

Ergänzend zu den Bauteilen Stütze wurden Untersuchungen zum Bauteil Wand durchgeführt. Die Ergebnisse für die Bauteile Wand entsprechen von der Tendenz her der Betrachtung der Stützen, vgl. Kapitel 3.6, wobei die „Rentabilitätsfaktoren Top12“ etwas geringer sind (Ursache: bei Wänden fallen aufgrund der nicht erforderlichen ECKausbildung der Beschichtung auf Zwischendecken und Fundamenten kleinere Beschichtungsflächen und damit ggf. auch Wartungskosten pro chloridbeaufschlagter Oberfläche an als bei Stützen).

4. Fazit und Ausblick

Stahlbetonbauteile in Parkgaragen weisen häufig Schäden infolge chloridinduzierter Korrosion auf, deren Instandsetzung sehr kostenintensiv ist. Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV) hat diesbezüglich reagiert und in seinem Merkblatt für Parkhäuser und Tiefgaragen [1] zahlreiche Maßnahmen empfohlen, durch welche die Dauerhaftigkeit der betroffenen Stahlbetonbauteile erhöht werden kann.

Aktuell stellt sich die Frage, ob der Einsatz von Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand (hier Top12 der Swiss Steel AG) eine wirtschaftliche Alternative bzw. Ergänzung zu den im DBV-Merkblatt propagierten Maßnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen in Parkbauten darstellt.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wurden daher zunächst Lösungsstrategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit bei Spritzwasserbeaufschlagung vorgestellt. Für ausgewählte Bauteile (Wände und Stützen) wurden dann praxisrelevante Varianten sowie zugehörige Bauteilbiografien (Herstellung, Wartung, Erhaltung/Instandsetzung) über die angestrebte Nutzungsdauer erarbeitet. Bei der Auswahl der Bauteilvarianten wurden sowohl im DBV-Merkblatt dargestellte Maßnahmen berücksichtigt als auch Alternativen mit Top12 vorgestellt. Anschließend wurden für die Bauteilvarianten Lebensdauerberechnungen und Lebenszykluskostenbetrachtungen durchgeführt. Für eine abschließende Bewertung der betrachteten Bauteilvarianten werden die Themenbereiche „Dauerhaftigkeit“, „Lebenszykluskosten“ und „baupraktische Gesichtspunkte“ berücksichtigt.

Die Betrachtungen zeigen, dass die Bauteilvarianten ohne präventive Maßnahmen klar am Schlechtesten abschneiden. Die Bauteilvarianten mit Top12 schneiden bei geringen Bewehrungsgehalten durchweg besser ab als die mit OS-System. Bei hohen Bewehrungsgehalten sind die Lebenszykluskosten der Bauteilvarianten mit Top12 ggf. etwas höher als die der Bauteilvarianten mit OS-System. Aufgrund der baupraktischen Gesichtspunkte ist der Einsatz von Top12 jedoch in vielen Fällen dennoch zielführender. Der Benefit durch den Top12 ist bei den Bauteilvarianten „Zwischendecke“ sowie „Stütze + Fundament im gepflasterten Bereich“ am größten. Allerdings müssen auch bei einem Einsatz von Top12-Stahl die für die jeweilige Bauteilvariante maßgeblichen, im DBV-Merkblatt vorgegebenen Inspektions-/Wartungszeiträume beachtet werden (z.B. jährlich bei Rissbandagen über Trennrissen in der Zwischendecke).

Literaturverzeichnis

- [1] DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen, 3. überarbeitete Ausgabe, Fassung Januar 2018.
- [2] Mayer, T.F.; Schießl-Pecka, A.: Lösungsstrategien zur Chloridbelastung in Straßentunneln. VSVI-Tagung Garching, Januar 2017.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), 2001 mit Berichtigungen vom Januar 2002 und Dezember 2005.
- [4] DIN 18532: Abdichtung befahrener Verkehrsflächen aus Beton, Beuth Verlag 2017.
- [5] Schießl, P.; Gehlen, Ch.; Sodeikat, Ch.; Mayer, T.F., Schießl-Pecka, A.: Dauerhafter Konstruktionsbeton für Wasserbauwerke. In: Betonkalender 2008, Band 1, S. 1 - 88. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2007.
- [6] Gehlen, Ch.: Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken. Heft 510 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Beuth-Verlag, Berlin, 2000.
- [7] v. Greve-Dierfeld, S.; Bisschop, J.; Schiegg, Y.: Nicht-rostende Bewehrungsstähle zur Verlängerung der korrosionsfreien Lebensdauer von Stahlbetonbauwerken. Beton- und Stahlbetonbau 112 (2017) 9, S. 601-610 - DOI: 10.1002/best.201700038.
- [8] Fédération internationale du béton (fib): Bulletin 76 – Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards. State-of-the-art report. 2015.
- [9] Nürnberger, U.: Nichtrostender Betonstahl. Merkblatt 866 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei. Düsseldorf, 2011.
- [10] Schwarz, J.: Forschungsprogramm: Zukunft Bau – Berücksichtigung von Lebenszykluskosten bei der Vergabe von Bauleistungen als Zuschlagskriterium. Endbericht Az 10.8.17.7-15.02. Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 2015.
- [11] Pelzeter: Lebenszykluskosten von Immobilien. Schriften zur Immobilienökonomie, Band 36, European Business School, Reichartshausen, 2006.
- [12] Federation internationale du beton (fib): Bulletin 34 - Model Code for Service Life Design. Lausanne, Schweiz, 2006.
- [13] Bundesanstalt für Wasserbau: BAW-Merkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC), Ausgabe 2017.
- [14] Greve-Dierfeld, S.; Bisschop, J.; Schiegg, Y.: Nichtrostende Bewehrungsstähle zur Verlängerung der korrosionsfreien Lebensdauer von Stahlbetonbauwerken. Beton- und Stahlbetonbau 112 (2017), H. 9, S. 601 – 610.
- [15] Schießl-Pecka, A.; Rausch, A.: Top12, Lebenszykluskosten Parkbauten, Swiss Steel. Gutachterliche Stellungnahme 18-369/1.1.1 vom 22.10.2019, Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München.