

Edelstahlbewehrung – Eine echte Alternative

Dr. Marc Zintel
Steeltec AG, Emmenbrücke, Schweiz

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die Anwendung von Bewehrungen aus nichtrostendem Stahl, insbesondere Top12, als Alternative zu herkömmlichen Oberflächenschutzsystemen in gepflasterten Parkhäusern und Fahrflächen vorgestellt. In Parkgaragen stellt die Chloridbelastung durch Fahrzeuge eine Herausforderung für die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen dar. Untersuchungen zeigen, dass hohe Chloridbelastungen an aufgehenden Bauteilen und Fahr- bzw. Parkflächen auftreten, die zusätzliche Schutzmaßnahmen erfordern.

Die Verwendung von Bewehrungen aus nichtrostendem Stahl bietet eine Reihe von Vorteilen, wie hervorragende Korrosionsbeständigkeit, Langlebigkeit und geringere Instandhaltungskosten im Vergleich zu herkömmlichen Oberflächenschutzsystemen. Eine besonders wichtige Innovation ist die "Mischbewehrung", bei der konventioneller Betonstahl (B500B) und nichtrostende Edelstahlbewehrung in einem Bauteil kombiniert werden können, ohne dass die Gefahr von Kontaktkorrosion besteht. Dieser Ansatz ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Bewehrungsgrade für die Edelstahlbewehrung, was zu Kosteneinsparungen führt.

Die wirtschaftliche Analyse zeigt, dass der Mischbewehrungsansatz je nach Bewehrungsgrad bereits bei der Herstellung Vorteile bringen kann. Darüber hinaus werden die Lebenszykluskosten reduziert, insbesondere weil die geplante Lebensdauer des Bauwerks ohne Instandsetzungen erreicht wird. Die Studie unterstreicht die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung der Herstellungs- und Lebenszykluskosten sowie der praktischen Aspekte bei der Auswahl des geeigneten Werkstoffes und der Ausführungsvariante. Durch den Einsatz von nichtrostenden Edelstahlbewehrungen und dem Ansatz der Mischbewehrung können Parkhausbetreiber die langfristige Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit ihrer Bauwerke sicherstellen und gleichzeitig die Umweltauswirkungen reduzieren.

1. Einleitung

Bodenplatten oder Rampen sind direkt den Tausalzen ausgesetzt, die von den Fahrzeugen eingetragen werden. Gepflasterte Parkflächen werden häufig als kostengünstige Alternative in Parkhäusern eingesetzt, um teure Stahlbetondecken zu vermeiden, die in der Regel beschichtet werden müssen. Die von den Fahrzeugen eingetragenen Chloride gelangen jedoch über das Spritzwasser an die aufgehenden Bauteile und über die wasserundurchlässige Pflasterdecke in die Fundamente.

Je nach Chloridwiderstand des verwendeten Betons können die Chloride innerhalb weniger Jahre bis zur Bewehrung vordringen. Erreicht die Chloridkonzentration an der Bewehrung den sogenannten kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt (Ccrit), kommt es in der Regel zur Bewehrungskorrosion. Die DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (RL SIB) legt für konventionellen Betonstahl (B500B) einen Chloridgrenzwert von 0,5 M.-%/z fest. Wird dieser Wert am Stahl erreicht, kann im Allgemeinen von einer Korrosionswahrscheinlichkeit von 30 - 40 % ausgegangen werden.

2. Chloridbelastungen durch Tausalzeintrag

Untersuchungen von Prof. Dauberschmidt an bestehenden Tiefgaragen [1] zeigen, dass sowohl an den

aufgehenden Bauteilen als auch an den Fundamenten hohe Chloridbelastungen auftreten.

Nachfolgend sind die wesentlichen Ergebnisse für die neuralgischen Punkte dargestellt:

- **Stützenfüße (über OK Pflaster):** Die Chloridbelastung lag bei 65% der untersuchten Bauteile über 0,5 M.-%/z, bei 42% sogar über 1,0 M.-%/z.
- **Arbeitsfuge:** In diesem Bereich wurden bei 44% aller untersuchten Bauteile Chloridbelastungen von über 0,5 M.-% festgestellt.
- **Fundamentoberseite:** Selbst in den tiefergelegenen Bereichen wurden bei 28% aller untersuchten Bauteile Chloridwerte größer 0,5 M.-%/z festgestellt.

Die Ergebnisse für gepflasterte Tiefgaragen belegen eindrucksvoll, dass in der Praxis bei ungeschützten Tiefgaragenstützen oder -wänden aufgrund der hohen Chloridbelastung mit Korrosionserscheinungen an den genannten neuralgischen Stellen vor der geplanten Lebensdauer (in der Regel 50 Jahre) zu rechnen ist. Entsprechend sind in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1/NA/A1 für chloridbeanspruchte Stahlbetonbauteile vom Planer zusätzliche Maßnahmen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit vorzusehen. [1]

Gemäß fib-Bulletin 76 [2] 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 Chloridbelastungen in Parkbauten möglichst realitätsnah abbilden zu können, wurden in [3] Chloridprofile aus bestehenden Parkbauten für die einzelnen Bauteile statistisch ausgewertet:

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

Diese Ergebnisse verdeutlichen auch hier, dass in der Praxis bei ungeschützten Oberflächen bereits vor Ablauf der geplanten Lebensdauer (in der Regel 50 Jahre) mit Korrosionsschäden an den genannten neuralgischen Stellen zu rechnen ist.

3. Zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Korrosion notwendig

Als zusätzliche Schutzmaßnahmen werden in der Regel chloridbeständige Oberflächenschutzsysteme (OS-Systeme) oder Abdichtungen eingesetzt. Aus Kostengründen werden häufig OS-Systeme bevorzugt. Diese Systeme schützen die Betonoberfläche und die darunter liegende Bewehrung vor der Einwirkung von Chloriden. Entscheidend für die Wirksamkeit dieser Systeme sind eine fachgerechte Herstellung, regelmäßige Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen.

4. Top12 - Nichtrostende Edelstahlbewehrung

Mit Top12 stellt die Steeltec AG einen kostengünstigen nichtrostenden Betonstahl mit der Werkstoffnummer 1.4003 und einem Chromgehalt von $\geq 12,0\%$ her. Der warmgewalzte, ferritische Betonstahl wird nach der Herstellung in einem speziellen Verfahren zusätzlich gebeizt, um das Korrosionsschutzpotential zu erhöhen. Seit 2016 liegt für Top12 als B500B NR eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt für $D = 8 - 14$ mm (Z-1.4-266) vor. Seit 2018 liegt eine weitere allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt für Top12 B670B NR (Stabstahl) für die Durchmesser 16, 20 und 28 mm vor (Z-1.4-272). Preislich (€/t) liegt Top12 derzeit nur etwa um den Faktor 4 über den Kosten von konventionellem B500B.

Die Chloridbeständigkeit von Top12 wird durch einen in beiden Zulassungen implementierten kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt (C_{crit}) von 2,3 M.-%/z sichergestellt. Damit ist der Chloridwiderstand von Top12 um mehr als den Faktor 4 höher als der von herkömmlichem Betonstahl (B500B).

Die Verwendung von Top12 als Bewehrung aus nichtrostendem Stahl bietet mehrere Vorteile:

- Korrosionsbeständigkeit: Top12 weist eine hohe Chloridbeständigkeit auf und ist daher besonders für den Einsatz in Umgebungen mit hoher Chloridbelastung geeignet.
- Langlebigkeit: Da Top12 nicht anfällig für Bewehrungskorrosion ist, kann seine Verwendung die Lebensdauer von Parkgaragenbauteilen erheblich verlängern.
- Minimale Instandhaltungskosten: Im Vergleich zu OS-Systemen erfordert der Einsatz von Top12 weniger Wartungsaufwand, da z.B. kein Wartungsplan wie bei einem OS-System befolgt werden muss und Reparaturen vermieden werden.

5. Vorteil des Mischbewehrungsansatzes

Eine wesentliche Weiterentwicklung beim Einsatz von Edelstahlbewehrung besteht darin, dass konventioneller Betonstahl (B500B) problemlos mit Edelstahlbewehrung wie Top12 im gleichen Bauteil kombiniert werden kann. Dadurch kann der Bewehrungsanteil an nichtrostender Stahlbewehrung pro Bauteil oder pro Quadratmeter deutlich reduziert werden. Die Mischbewehrung bietet eine kostengünstige Möglichkeit, die Vorteile der nichtrostenden Stahlbewehrung zu nutzen, ohne die Baukosten wesentlich in die Höhe zu treiben.

Zum Hintergrund: Grundsätzlich fallen die Korrosionspotentiale von B500B und Top12 im alkalischen Milieu auf ein Niveau zusammen. D.h. es gibt im alkalischen Milieu beim elektrischen Kontakt von B500B und Top12 keine Spannungsdifferenz (Treibspannung) zwischen dem „edlen“ Top12 und dem „unedlen“ B500B. Eine eventuell vorhandene Spannungsdifferenz wäre die treibende Kraft für die Kontaktkorrosion. Da diese nicht vorhanden ist, tritt auch keine Kontaktkorrosion auf.

Das alkalische Milieu wird durch unsere Vorgaben in der Zulassung hinsichtlich der Betondeckung sichergestellt. Es wurde nachgewiesen, dass eine Betondeckung von 35 mm ausreicht, um das alkalische Milieu auch unter ungünstigsten Bedingungen über 100 Jahre zu gewährleisten.

Die Grundaussage basiert im Wesentlichen auf dem von Prof. U. Nürnberger verfassten Merkblatt 866 „Nichtrostender Betonstahl“ der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei [4].

5. Top12 – Ausführungsvarianten und deren Wirtschaftlichkeit

Um Top12 gezielt nur in Bereichen mit vorherrschender Chloridbelastung einzusetzen und letztlich die teureren Stahlmengen zu minimieren, wird Top12 grundsätzlich

in Mischbewehrung, d.h. in Kombination mit konventionellem B500B eingesetzt.

5.1 Gepflasterte Parkgaragen

Top12 wird im unteren Stützenbereich eingesetzt, wo mit Tausalzbelastung zu rechnen ist (vgl. Bild 1) und in der Regel ein OS-System oder ein Abdichtungssystem eingesetzt wird (vgl. Bild 2).

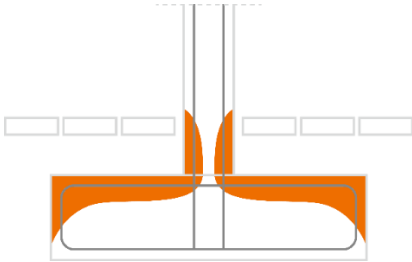


Bild 1: Schematische Darstellung des Chlorideintrags unter Pflasterbelägen, gemäß [1]. (Quelle: Steeltec AG)

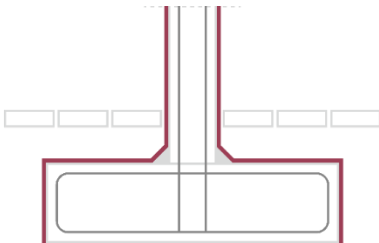


Bild 2: Übliche Ausführung mit einem vollflächigen Oberflächenschutzsystem bzw. einer Abdichtung [5]. (Quelle: Steeltec AG)

Entsprechend wird im Fundament (i.d.R. Einzelfundament) die Bewehrung an der Oberseite sowie an den Seitenflächen in Top12 ausgeführt. Die aufgehende Stützenbewehrung wird ab der Verankerung im Fundament bis zu einer Höhe von 0,5 m über OK Pflaster plus Übergreifungsstoß in Top12 hochgeführt (inkl. Bügel). Im oberen Bereich der Stütze (d.h. ab 0,5 m) und für die Durchstanzbewehrung an der Fundamentunterseite wird aufgrund der fehlenden Chloridbelastung konventioneller Betonstahl (B500B) verwendet. Bei erforderlichen Übergreifungsstößen von Top12 und B500B (Mischbewehrung) ist grundsätzlich darauf zu achten, dass die Stöße in nicht chloridbelasteten Bereichen angeordnet werden. Die Arbeitsfuge wird zusätzlich mit einer zementären Hohlkehle geschützt.

Der Stützenbereich ist nach [5] mindestens der Expositionsklasse XD2 zuzuordnen. Die Fundamentoberflächen sind mit Gefälle in XD2 oder ohne Gefälle in XD3 einzustufen. Auf ein Oberflächenschutzsystem oder eine Abdichtung kann bei dieser Ausführungsvariante vollständig verzichtet werden. In Bild 3 ist die erläuterte Top12-Variante „Fundament/Stütze“ grafisch dargestellt.

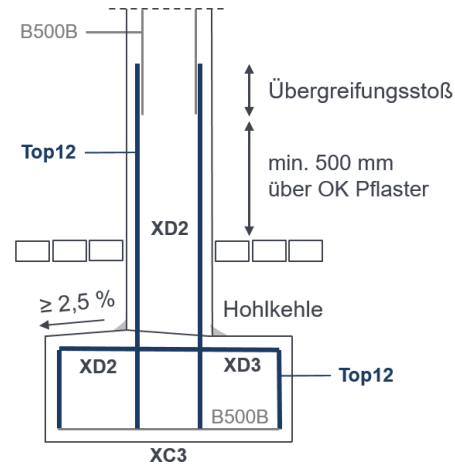


Bild 3: Top12-Ausführungsvariante „Stütze/Fundament“ ohne Oberflächenschutzsystem oder Abdichtung, Fundament an der Oberseite bewehrt. (Quelle: Steeltec AG)

Werden Fundamente nur mit Durchstanzbewehrung, d.h. ohne äußere Bewehrungslage an den Fundamentoberflächen und Seitenflächen geplant, so entfällt dort der Einsatz von Top12.

Im analogen Fall von Streifenfundamenten und einem Wandanschluss anstelle eines Stützenanschlusses wird Top12 entsprechend der i.d.R. einseitigen Chloridbelastung ebenfalls nur einseitig eingesetzt. D.h. Top12 wird selektiv nur auf der chloridzugewandten Seite eingesetzt, wo üblicherweise OS-Systeme oder Abdichtungen aufgebracht werden. Top12 wird somit nicht nur über die Bauwerkshöhe, sondern auch über die Bauwerkstiefe selektiv in Mischbewehrung mit konventionellem B500B eingesetzt. Die umlaufende Bügelbewehrung verbleibt in Top12. Auch hier ist bei notwendigen Übergreifungsstößen von Top12 und B500B darauf zu achten, dass diese im nicht-chloridbelasteten Bereich angeordnet werden. In Bild 4 ist die erläuterte Top12-Variante „Wand/Stütze“ grafisch dargestellt.

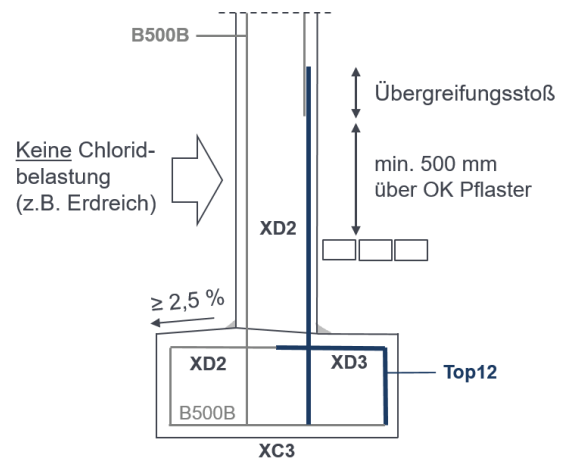


Bild 4: Top12-Ausführungsvariante „Wand/Fundament“ ohne Oberflächenschutzsystem oder Abdichtung, Fundament an der Oberseite bewehrt (Quelle: Steeltec AG)

Herstellungs- und Lebenszykluskosten von Top12 im Vergleich zu OS 5b-System [%]

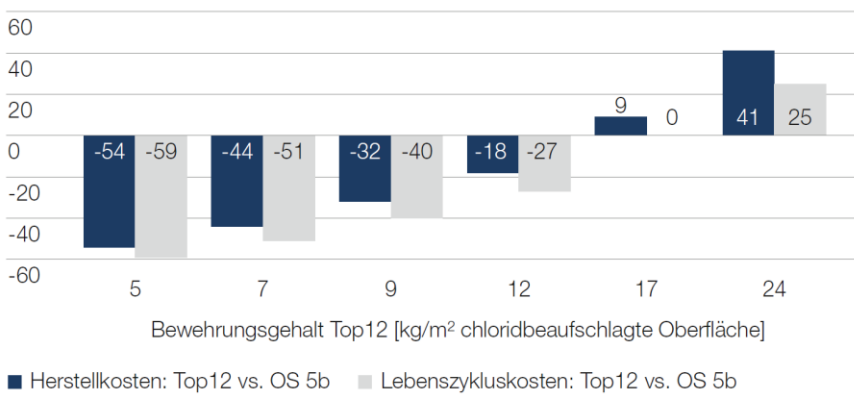


Bild 5: Herstellungs- und Lebenszykluskostenvergleich der Top12-Ausführungsvariante „Stütze/Fundament“ vs. OS 5b-System (Quelle: Steeltec AG)

Bei mittleren Bewehrungsgraden (< 17 kg/m²) liegen die Herstellungskosten für Top12 unter denen der Beschichtungsvariante, siehe Bild 5. Der Kostenvorteil von Top12 erreicht sein Maximum mit -54% bei sehr geringen Top12 Bewehrungsgraden (5 kg/m²).

Durch den Einsatz von Top12 können im Vergleich zu einer Beschichtung weitere Kosten im Betrieb eingespart werden. Wenn kein OS-System vorhanden ist, entfallen auch alle Folgekosten im Betrieb, d.h. Reinigungs-, Wartungs- und Instandsetzungskosten durch notwendige Beschichtungserneuerungen. Dadurch ergeben sich gegenüber den Herstellungskosten weitere Kostenvorteile, die sich positiv auf die Lebenszykluskosten auswirken, siehe graue Balken in Bild 5.

5.2 Unbeschichtete Rampen/Fahrflächen im EGS c

Die Ein- und Ausfahrtsbereiche von Parkhäusern und Tiefgaragen sind die am stärksten frequentierten Verkehrsflächen und grundsätzlich sehr hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Nur eine uneingeschränkte Nutzbarkeit dieser Bereiche gewährleistet eine hohe Verfügbarkeit der angeschlossenen Parkflächen.

Um den konventionellen Betonstahl vor hohen Chloridbelastungen durch eingebrachte Tausalze zu schützen, werden Rampen häufig beschichtet ausgeführt. Die hohen mechanischen Belastungen durch den anfahren und abbremsenden Verkehr führen zu einem hohen Verschleiß der Rampen und damit zu einem hohen Instandhaltungsaufwand der Beschichtungssysteme. Die Folge sind ungeplant kurze Instandsetzungszyklen (in der Regel 10-15 Jahre), in denen schadhafte Beschichtungssysteme aufwendig ausgebessert oder komplett erneuert werden müssen.

Bei dem dargestellten Referenzobjekt wurde im Zuge einer korrosionsbedingten Instandsetzung der Tiefgarage u.a. auch die ca. 22 m lange Rampe erneuert, siehe Bild 6.



Bild 6: Instandsetzung einer Rampe mit Top12 (Quelle: Bräuning + Partner mbB, Bamberg)

Die Tiefgarage gehört zum Gebäudekomplex des Landratsamtes in der Schrammstraße 1 in Schweinfurt und umfasst 142 Stellplätze, die den Mitarbeitern der Behörde kostenlos zur Verfügung stehen. Bei der Instandsetzungsmaßnahme wurde die frei bewitterte, ca. 6,70 m breite Rampe mit einem maximalen Gefälle von ca. 19 % mittels Hochdruckwasserstrahlen abgetragen. Bei den anschließend in Ortbeton hergestellten Fahrplatten wurden quer zur Fahrtrichtung Sollrissfugen angeordnet, die später lokal mit einem Kompressionsdichtprofil plus Fugenvergussmasse geschützt wurden (EGS c), siehe Bild 7.



Bild 7: Rampe nach der Instandsetzungsmaßnahme mit Top12 (Quelle: Swiss Steel AG)

Im Rahmen des selektiven Ansatzes wurde Top12 in Mischbewehrung zusammen mit konventionellem Betonstahl (B500B) eingesetzt - hier nur in der oberen, chloridbelasteten Bewehrungslage der Fahrbahnplatte, die untere Bewehrungslage blieb konventionell als B500B. Durch den selektiven Einsatz von Top12 in den ungerissenen Betonflächen konnte vollständig auf ein Beschichtungssystem verzichtet werden, siehe Variante A2 in [5]. Die höheren Herstellungskosten durch Top12 (hier nur ca. 25 €/m² bei insgesamt ca. 1 t Top12 mit D = 8 mm) wurden durch den Wegfall der Beschichtung bereits bei der Herstellung um mehr als Faktor 2 kompensiert.

Die Verwendung von nichtrostendem Betonstahl führt zu einer wartungsfreien Fahrbahnoberfläche - minimale Lebenszykluskosten sind die Folge. Darüber hinaus bleibt die Erreichbarkeit aller Stellplätze über die geplante Nutzungsdauer (Verfügbarkeit) gewährleistet, da Sperrungen durch sonst übliche Wartungsarbeiten entfallen.

7. Fazit

Der Einsatz von Top12 als Bewehrung aus nichtrostendem Stahl in Kombination mit konventionellem Betonstahl ermöglicht eine wirtschaftliche und dauerhafte Alternative zu herkömmlichen Oberflächenschutzsystemen in gepflasterten Parkhäusern sowie Fahrflächen im EGS c (z.B. Rampen, WU-Bodenplatten). Hervorzuheben ist die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung der Herstellungs- und Lebenszykluskosten sowie der baupraktischen Aspekte bei der Auswahl des geeigneten Materials und der Ausführungsvariante. Mit dem Ansatz der Mischbewehrung können Bauherren zum einen in vielen Fällen kostenneutral auf Beschichtungen verzichten, damit die Verfügbarkeit durch den Wegfall von Instandsetzungen sichern und die mit Abstand geringsten Lebenszykluskosten realisieren. Gleichzeitig werden die CO₂-Emissionen durch den Verzicht auf kunstharzgebundene OS-Systeme reduziert.

Literaturverzeichnis

- [1] C. Dauberschmidt, F. Becker: Neue Forschungsergebnisse zum Schutz von Bauteilen unter Pflasterbelägen. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018), Heft 10, S.737-745.
- [2] Fédération internationale du béton (fib): Bulletin 76 – Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards. State-of-the-art report. 2015.
- [3] Schießl-Pecka, A.; Rausch, A.: Top12, Lebenszykluskosten Parkbauten. Gutachterliche Stellungnahme 18-369/1.1.1 vom 22.10.2019, Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München.
- [4] Nürnberger, U.: Nichtrostender Betonstahl. Merkblatt 866 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei. Düsseldorf, 2011.
- [5] DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen, 3. überarbeitete Ausgabe, Fassung Januar 2018. Aktualisierter Nachdruck September 2022.