

Schriftenreihe

Heft 96/2012

Daimlerstraße 18
70736 Fellbach
Tel.: (0711) 645 80 845
Fax: (0711) 645 80 846
E-Mail: info@rieche-schuerger.de
Internet: www.rieche-schuerger.de

Ingenieure und Sachverständige

Begutachtung und Beratung
Forschung und Entwicklung
Werkstoff- und Bauteilprüfung
Planung und Beweissicherung

Dipl.-Ing. (FH) Dennis Ziegler

Typische Chloridverteilung an Stützenfüßen in Parkhäusern und Tiefgaragen

Veröffentlicht im Tagungsband:
5. Kolloquium Verkehrsbauten 2012
Technische Akademie Esslingen (TAE)

Typische Chloridverteilung an Stützenfüßen in Parkhäusern und Tiefgaragen

Dipl.-Ing. (FH) Dennis Ziegler
Institut für Bautenschutz, Baustoffe und Bauphysik
Dr. Rieche und Dr. Schürger GmbH & Co. KG,
Fellbach, Deutschland

Zusammenfassung

Bei einer ersten Bestandsaufnahme der Chloridverteilung in Stützenfüßen soll meist nur eine geringe Anzahl der in dem Bauwerk vorhandenen Stützen untersucht werden, um mit wenig Aufwand das Ausmaß der eingetragenen Chloride zu erfassen. Wie kann man jedoch sicherstellen, dass die am stärksten mit Chloriden befallenen Stützen auch erfasst werden, wenn nur ein Bruchteil aller Stützen untersucht werden kann? Oftmals fehlen Hinweise auf eine Chloridbelastung, wenn noch keine Schädigungen an den Stützen vorliegen (z. B. Betonabplatzungen, Korrosionsspuren, Ausblühungen). Nachfolgend wird aufgezeigt, in welchen Bereichen von Parkhäusern und Tiefgaragen die Stützenfüße erfahrungsgemäß am stärksten betroffen sind. Dabei werden die für die Chloridverteilung wesentlichen Parameter erörtert, wie z. B. Orientierung der Stützenfüße, Gefällesituation, Fahrbelastung, "Auswascheffekt". All diese Erfahrungen sollen helfen, ein möglichst repräsentatives Bild der Chloridbelastung für das Gesamtobjekt bei möglichst geringem Untersuchungsaufwand zu erhalten.

1. Einleitung

„Wer aus Stahlbeton baut, baut für die Ewigkeit“ hört man es oft klingen. Dass dies nicht immer so ist, wird insbesondere bei Parkhäusern und Tiefgaragen deutlich. Eine der Hauptursachen von Schäden an Stahlbetonbauteilen in solchen Bauwerken stellt die Chloridkorrosion der Bewehrung dar.

In den 60er-Jahren war es nicht üblich, Stahlbetonbauteile in Parkhäusern und Tiefgaragen im heutigen Sinne vor dem schädigenden Einfluss von Chlorid zu schützen (Oberflächenschutzsysteme, Abdichtungen). Diese Bauwerke erfahren seit Jahrzehnten eine Beanspruchung durch Tausalze, die durch den PKW-Verkehr im Winter eingeschleppt werden. Vielfach weisen deshalb Parkhäuser und Tiefgaragen einen sanierungsbedürftigen Zustand auf. Die zwischenzeitliche Begrenzung der Streusalzmenge in den vergangenen Jahrzehnten scheint angesichts der leeren Salzlager der letzten Winter nicht mehr realisierbar zu sein. Vielmehr werden überall die Salzvorräte deutlich aufgestockt.

Bei einer ersten Bestandsaufnahme in Parkhäusern und Tiefgaragen wird oftmals auch heute noch die Chloridbelastung der Betonbauteile nicht im erforderlichen Umfang untersucht oder sogar völlig außer Acht gelassen. Leider werden oftmals nur sichtbare Schäden (z. B. Betonabplatzungen, Korrosionsspuren, Ausblühungen) aufgenommen und bewertet. Die ausreichende

Untersuchung auf Chloridbelastungen im Beton bleibt oftmals außen vor. Solche fehlerhaften oder fehlenden Bestandsaufnahmen führen dann zu einem fehlerhaften Instandsetzungskonzept und oftmals stellt sich wenige Jahre nach einer teuren Instandsetzung heraus, dass erneut Schäden aufgrund von Chloridkorrosion der Bewehrung auftreten.

Um solchen Fehlentwicklungen vorzubeugen, ist bereits in der ersten Bestandsaufnahme eine für das Gesamtobjekt repräsentative Untersuchung der Chloridverteilung im Stahlbeton erforderlich.

2. Grundlagen

2.1 Korrosion der Bewehrung

Der Bewehrungsstahl im Beton ist aufgrund des hohen pH-Wertes des Betonsteins von pH 12-14 vor Korrosion geschützt. Bei Kontakt von Stahl zum hochalkalischen Porenwasser des Betons bildet sich eine passivierende Schicht von hydratisiertem Eisenoxid (chemischer Schutz, aktiver Korrosionsschutz). Solange dieser Zustand durch geeignete Maßnahmen (physikalischer Schutz; passiver Korrosionsschutz) aufrecht erhalten wird, kann keine Korrosion der Bewehrung erfolgen.

Gemäß *Nürnberger* [1] ist eine Korrosion der Bewehrung im Stahlbeton unter folgenden Voraussetzungen möglich, die alle gleichzeitig erfüllt sein müssen:

- Zutritt von Kohlenstoffdioxid oder Chloridionen zur Bewehrung. Chloridionen sind in der Lage, die Passivität des Stahls örtlich zu zerstören. So kann eine Korrosion auch ohne Kohlenstoffdioxid im noch nicht karbonatisierten Beton eintreten.
- Sauerstoff. Dieser muss durch den Beton bis zum Stahl hindurch diffundieren können.
- Wässriger Elektrolyt mit hoher Ionenleitfähigkeit. Voraussetzung hierfür ist, dass möglichst viel ungebundenes Wasser in den Poren des Betons vorliegt. Ein hoher Salzgehalt des Elektrolyten setzt die Leitfähigkeit herauf. Hierbei ist zu beachten, dass nicht nur ein Zutritt von flüssigem Wasser korrosive Bedingungen herstellt, sondern auch Wasser in den Poren infolge von Kapillarkondensation. Diese erfolgt, wenn der Beton einer dauerhaft hohen Luftfeuchte ausgesetzt ist, da die Ausgleichsfeuchte des Betons sich infolge Sorption der umgebenden Luftfeuchte angleicht (Sorptionisotherme).

Um den Korrosionsschutz aufrecht zu erhalten, müssen die o. g. Voraussetzungen unterbunden werden. Folgende Maßnahmen sind zu ergreifen:

- Verhindern des Zutrittes von Kohlenstoffdioxid (CO_2)
- Verhindern des Zutrittes von Chloriden (Cl)
- Minimierung der Sauerstoffdiffusion (O_2)
- Begrenzung des Wassergehaltes des Betons

2.2 Chloridkorrosion der Bewehrung

In Parkhäusern und Tiefgaragen unterliegen die Stahlbetonbauteile einer hohen Chloridbelastung durch Tausalzeintrag. Deshalb ist hier auf die Chloridkorrosion der Bewehrung ein besonderes Augenmerk zu werfen. Die Korrosion durch Karbonatisierung ist in solchen Bauwerken oft zweitrangig.

Die Abbildung 1 zeigt die Folgen einer chloridinduzierten Korrosion von Stahl (Lochfraßkorrosion). Durch die lokale Korrosion wird der Querschnitt des Bewehrungsstahls stark vermindert. Liegen hohe Chloridkonzentrationen und eine gleichmäßige Verteilung der Chloride vor, so kommt es zu einem zusammenwachsenden Angriff auf den Stahl.

Chloride gelangen hauptsächlich in Verbindung mit dem Wassertransport in den Beton. Die Chloride können dabei sowohl über den kapillaren Wassertransport mit dem Wasser eindringen als auch durch Diffusion in den Beton eingetragen werden. Bei wassergesättigten Betonen findet der Transport der Chloride ausschließlich durch Diffusion statt, was einen langsameren Chlorideintrag zur Folge hat. Die höchste Transportleistung für Chloride ermöglichen solche Betonbauteile, die einer Wechselbefeuchtung unterliegen (z. B. Spritzwasserbereich, temporäre Pfützenbildung).

Gemäß *Nürnberger* [1] begünstigen folgende Faktoren den Transport der Chloride in den Beton hinein:

- Betontechnologische Einflüsse, welche die Porosität des Betons bestimmen (z. B. w/z-Wert, Zementart, etc.).
- Bei zunehmender Temperatur erhöht sich die Transportleistung.
- Art des Chloridsalzes.
- Je höher die Chloridkonzentration an der Betonoberfläche ist, desto höher ist die Transportleistung.
- Risse im Beton. Chloride können auch durch kleinste Risse im Beton infolge kapillaren Wassertransportes in relativ großer Menge eindringen.

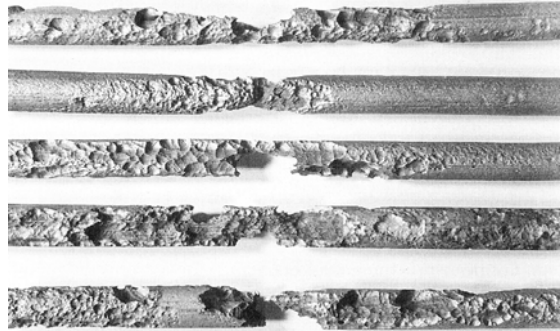


Abb.1: Lochfraß an Bewehrungsstählen infolge von chloridinduzierter Korrosion nach Abbeizen der Korrosionsprodukte. Quelle: *Nürnberger* [1].

2.3 Kritischer Chloridgehalt

Der Chloridgehalt im Beton wird in Masse-% Cl bezogen auf die Masse des Zementes im Beton dargestellt und beurteilt. Im nachfolgenden Text ist diese Einheit mit "M-%" bezeichnet.

Von *Nürnberger* [1] ist der kritische Chloridgehalt wie folgt beschrieben:

Als kritischer Chloridgehalt wird jener Gehalt im Beton definiert, bei dessen Überschreitung die Passivität zerstört wird und Korrosion einsetzt.

Über die dafür maßgeblichen Chloridgehalte liegen jedoch unterschiedliche Untersuchungsergebnisse und folglich unterschiedliche "Grenzwerte" vor. Entsprechende Untersuchungen haben gezeigt, dass Korrosion der Bewehrung ab einem Chloridgehalt von 0,4 M-% einsetzen kann. In anderen Untersuchungen hat sich jedoch gezeigt, dass eine Korrosion unter bestimmten Voraussetzungen auch bei höheren Chloridgehalten von mehreren Masse-% noch nicht eingetreten ist. Demnach ist es möglich, eine Chloridkorrosion auch bei Chloridgehalten größer 0,4 M-% zu verhindern, wenn die in Abschnitt 3.1 genannten weiteren Korrosionsbedingungen (Sauerstoff, Wasser) unterbunden werden.

Im Hinblick auf die Instandsetzung von chloridhaltigem Beton gelten gemäß der *Instandsetzungs-Richtlinie* [2] folgende Anforderungen:

Abschnitt 6.5.1

Der kritische, korrosionsauslösende Chloridgehalt im Beton hängt von einer Reihe von Einflussfaktoren ab und muss daher im jeweiligen Einzelfall bei Überschreitung der in Abschnitt 6.5.2 genannten Grenzwerte durch den sachkundigen Planer beurteilt werden. Hierbei sind außer dem Chloridgehalt auch die Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen.

Abschnitt 6.5.2

Wenn bei Stahlbetonbauteilen in der Betondeckungsschicht Chloridgehalte über 0,5 % Cl, bezogen auf die Zementmasse, und bei Spannbetonbauteilen Werte über 0,2 % Cl ermittelt werden, ist zur Beurteilung der erforderlichen Maßnahmen der sachkundige Planer einzuschalten.

In [3] und [4] werden von Rieche und Wehrle praktische Hilfen für die Instandsetzung von chloridhaltigen Stahlbetonbauteilen gegeben. Demnach ist die in Abbildung 2 dargestellte Tabelle für die Bewertung des Chloridgehalts hilfreich, die durch Rieche gemäß [5] an die Anforderung der Instandsetzungs-Richtlinie angepasst wurde. Für die Beurteilung ist auch immer der Karbonatisierungszustand des Betons in der Umgebung der Bewehrung zu berücksichtigen und die Frage, ob der Wassergehalt des Betons zuverlässig begrenzt ist.

Chloridgehalt	Bewertung
kleiner 0,5 Masse-% Cl	Keine Korrosion (nach Instandsetzungs-Richtlinie)
0,5 bis 1,0 Masse-% Cl	Gefährdung der Dauerhaftigkeit meist gering zusätzliche Maßnahmen erforderlich: z. B. Beschichtung, Abdichtung
größer 1,0 Masse-% Cl	Dauerhaftigkeit nicht gegeben, daher: A.) Chloridhaltigen Beton nahe der Bewehrung entfernen B.) Kathodischer Schutz C.) Elektrochemischer Chloridentzug

Abb.2: Bewertung des Chloridgehaltes nach Rieche und Wehrle. Quelle: *Rieche* [5].

Die übliche Verteilung von Chloridgehalten über den Betonquerschnitt entspricht den in Abbildung 3 beispielhaft dargestellten Profilen mehrerer Bauteile verschiedener Objekte. So findet man in der äußeren, 2 cm dicken Schicht üblicherweise die höchsten Werte, die mit zunehmender Tiefe (2-4 cm, 4-6 cm) meist deutlich abnehmen.

Geht man davon aus, dass der Beton (z. B. von Stützenfüßen) bei Vorliegen solcher Profile lediglich abge-

dicke wird, so werden sich im Laufe der Zeit die Konzentrationsunterschiede innerhalb des vor neuem Chloridzutritt geschützten Betons durch Diffusion ausgleichen. Deshalb muss zunächst über den Gesamtquerschnitt der Chloridgehalt gemittelt werden, bevor die in Abbildung 2 dargestellten Grenzwerte angewendet werden können. Außerdem muss natürlich überprüft werden, in welcher Tiefe sich die Bewehrung befindet, um die aktuelle Korrosionsbelastung beurteilen zu können.

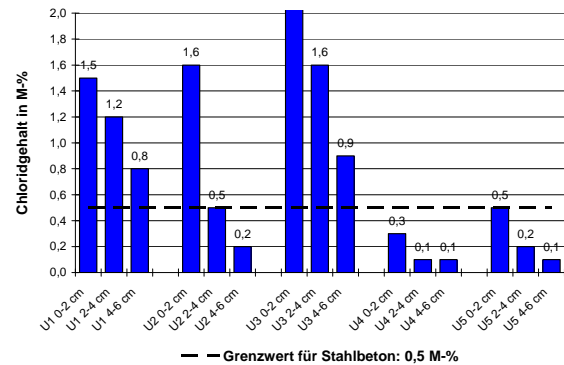


Abb.3: Typische Chloridverteilung (beispielhaft zusammengestellte Messwerte verschiedener Objekte).

2.4 Entnahme von Proben und Bestimmung des Chloridgehaltes

Um den Chloridgehalt des Betons zu bestimmen, sind prinzipiell zwei Schritte erforderlich, nämlich die Probenentnahme vor Ort und die Probenanalyse im Labor. Im Heft 401 des DAfStb [6] sind Verfahren für die Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton beschrieben.

Bei der Probenentnahme bietet es sich an, Bohrmehlproben aus dem Beton zu entnehmen. Dies birgt die Vorteile, dass die Proben im Labor später nicht mehr aufwändig zerkleinert werden müssen und der Zeitaufwand vor Ort für das "Beprobieren" der Betonbauteile kann aufgrund heute leistungsfähiger Akku-Schlagbohrmaschinen auf ein Minimum reduziert werden.

Die Entnahme der Bohrmehlproben erfolgt tiefengestaffelt. Dies ermöglicht die Ermittlung der Chloridgehalte in Abhängigkeit der Tiefe von der Oberfläche des Betons aus gesehen. Dabei kann dasselbe Bohrloch für die tieferen Entnahmen weiter verwendet werden. Nach jedem Bohrvorgang sind aber der Bohrer, die Absaugvorrichtung und das Bohrloch vollständig von verbleibendem Bohrmehl zu befreien.

An den entnommenen Proben wird im Labor deren Chloridgehalt im Beton nasschemisch analysiert. Nach der Probenpräparation, dem Heiß-Aufschluss der Proben mit Salpetersäure und dem Abfiltrieren wird die Chloridionen-Konzentration (Cl) des Filtrats, bezogen auf die Betoneinwaage, bestimmt. Gemäß [6] sind

hierfür mehrere Verfahren möglich. Die Ermittlung des Chloridgehalts, bezogen auf den Zementgehalt, erfolgt durch Umrechnung der im Beton vorliegenden Chloridionen-Konzentration entsprechend dem Zementgehalt des Betons.

Auf Basis der Ergebnisse der tiefengestaffelten Einzelproben kann dann die Chloridverteilung im Bauteil an der Entnahmestelle ermittelt werden. Hierbei bietet sich die kombinierte Darstellung in Tabellenform und Diagrammform (Abbildung 3) an. In die Tabellen können beispielsweise weitere Schadensdiagnosen an der Untersuchungsstelle eingetragen werden (z. B. augenscheinlicher Zustand, Karbonatisierungstiefe, etc), so dass ein Überblick über den Gesamtzustand des Betons möglich ist. Wird eine reine Chloriduntersuchung in großer Anzahl durchgeführt, bietet sich die Darstellung als Grafik an, da hier schnell ein Überblick über die Chloridverteilung im Bauteil oder in der Konstruktion ermöglicht wird.

3. Chloridverteilung in Stützenfüßen

3.1 Vorliegende Problematik

Bei einer ersten Bestandsaufnahme soll meist durch eine möglichst geringe Probenanzahl ein möglichst genaues Bild der Chloridverteilung in Stützenfüßen entstehen. Ein solches Bild entsteht jedoch oftmals deshalb nicht, da eine für das Gesamtobjekt repräsentative Untersuchung entweder gar nicht durchgeführt wird, oder aber weil diese Untersuchungen ohne System erfolgen.

In den nachfolgenden Abschnitten soll dargestellt werden, welche verschiedenen Bereiche in welcher Intensität beprobt werden müssen, um ein für das Gesamtobjekt repräsentatives Bild der Chloridverteilung in den Stützenfüßen zu erhalten.

3.2 Deutliche Hinweise auf Korrosion der Bewehrung

Vielfach ist in Parkhäusern und Tiefgaragen bereits deutlich sichtbar, dass eine Korrosion der Bewehrung infolge Chlorideinwirkung bereits stattgefunden hat. Falls die korrodierte Bewehrung noch nicht frei liegt, ist auf folgende Merkmale zu achten:

- Betonabplatzungen
- Hohlstellen des Betons
- Gerichtete Risse im Beton über der Bewehrung
- Braunfärbung der Betonoberfläche durch Rost

In diesen Bereichen ist erfahrungsgemäß die Bewehrung bereits korrodiert, was zu einer Volumenzunahme der Korrosionsprodukte gegenüber Stahl/Eisen geführt hat und im weiteren Verlauf Schäden im Beton nach sich zieht. Zwar ist in diesen Bereichen bereits eine Schädigung eingetreten und oftmals bereits klar, welche Instandsetzung erfolgen muss. Gerade hier ist aber eine Beprobung ebenso erforderlich, weil festgestellt

werden muss, wie tief und mit welcher Konzentration die Chloride bereits in den Beton eingedrungen sind.

3.3 Lage und Orientierung der Stützenfüße

In einer Tiefgarage mit beispielsweise 200 Stützenfüßen stellt sich für die erste Bestandsaufnahme die Frage, welche Stützen und insbesondere welche Stützensseite denn überhaupt beprobt werden sollen. Vielfach wird ein Zufalls-System angewendet, wie z. B. man beprobt jede fünfte Stütze und dabei jedes Mal eine andere Seite. Eine solche Vorgehensweise ist aber nur dann sinnvoll, wenn von vornherein klar ist, dass alle Stützen gleichermaßen von der Chlorideinwirkung betroffen sind. Dies entspricht aber nur in den seltensten Fällen der Realität. Folgende Einflüsse auf die Chlorideinwirkung sind nämlich zu beachten:

- Wo wird die Stütze mehr belastet, auf der Seite zur Fahrgasse oder auf der Seite zum Parkplatz?
- Ist der Bereich, in dem sich die Stütze befindet hoch frequentiert oder nur wenig genutzt?

Diese beiden Aspekte sind bei der Auswahl der Stützen unbedingt zu beachten. In der Regel werden diejenigen Stützen stark mit Chloriden beaufschlagt, die sich in hoch frequentierten Bereichen befinden. Diese liegen oftmals in der Nähe zu Eingängen (z. B. im Einkaufszentrum), da hier die meisten Besucher am Tag wechseln. In privaten Tiefgaragen hingegen gibt es solche Bereiche nicht, diese werden in der Regel relativ gleichmäßig genutzt. Aber auch dort gibt es Bereiche, die erfahrungsgemäß eine eher niedrige Chloridbelastung aufweisen, nämlich z. B. nicht vermietete Stellplätze oder solche Stellplätze, die nur als Lagerfläche genutzt werden. Auch von der Art der Belegung der Stellplätze (Motorräder, Oldtimer, abgemeldete Fahrzeuge) können Rückschlüsse auf die Chloridbelastung gezogen werden. Solche "Sommerfahrzeuge" vermindern das Einschleppen von Tausalzen natürlich enorm. Oftmals stellt sich die Frage, ob die Stützensseiten zu den Fahrgassen oder zu den Parkplätzen höher mit Chloriden belastet sind. Dies lässt sich meist nicht eindeutig beantworten. Bei unseren Untersuchungen an zahlreichen Parkhäusern und Tiefgaragen haben sich aber folgende Tendenzen abgezeichnet:

- Stützen, die zur Hauptfahrgasse orientiert sind, sind oft intensiv belastet. Hier muss jeder PKW vorbei und schleppt chloridhaltiges Wasser und Schneematsch ein. Oftmals ist die Fahrgeschwindigkeit in der Hauptfahrgasse höher als in Nebenfahrgassen, so dass die Spritzwasserbelastung höher ist.
- Die Chloridbelastung der zu den Parkplätzen orientierten Stützensseiten variiert sehr stark. Dies liegt daran, dass hier meist andere Faktoren den maßgeblichen Einfluss spielen (konstruktive Ausbildung, Beschichtung, Pfützenbildung). Auch hier ist aber eine deutliche Tendenz bei hoch frequentierten Bereichen z. B. in Einkaufszentren zu

sehen. Die Stützenseiten zu wenig genutzten Parkplätzen mit der weitesten Entfernung zum Eingang weisen oft nur geringe Chloridgehalte auf.

- Parkplätze von Dauerparkern (z. B. Tagesparker in firmeneigener Tiefgarage) sind meist weniger belastet als die von Kurzzeitparkern (z. B. Einkaufszentrum).
- Fahrgassen, die sehr weit entfernt vom Eingang und von den hoch frequentierten Bereichen liegen, sind meist gering belastet.

Um die höchsten Chloridgehalte in Verkehrsbauten zu erfassen, muss grundsätzlich der am meisten frequentierte Bereich untersucht werden. Dennoch ist ein gewisses Maß an Proben auch stets aus offensichtlich wenig genutzten Bereichen zu entnehmen, um zu prüfen, ob dort ebenfalls eine Belastung vorliegt. In einem konkreten Beispiel wurde in einer Tiefgarage die Ein-/Ausfahrt vor ca. 20 Jahren verlegt. Solche Umnutzungen sind nicht immer sofort ersichtlich. Deshalb besteht die Gefahr, dass die früher stark frequentierten und mit Chloriden belasteten Bereiche außer Acht gelassen werden.

3.4 Gefällesituation

Einen maßgeblichen Einfluss auf den Chloridgehalt in Stützenfüßen hat das Gefälle des Bodens direkt in der Umgebung der Stützen. Die höchsten Chloridbelastungen in Verkehrsbauten treten immer dort auf, wo Pfützen stehen bleiben. In den Pfützen findet eine Aufkonzentration der Chloride statt (Salzsee). Stehen solche Pfützen an Stützenfüßen an, so kann die Chloridbelastung dort immens hoch sein. Die hoch gesättigten Lösungen der Pfützen bewirken einen starken Eintrag des Chlorides in den Beton.



Abb.4: Salzränder, infolge einer Pfützenbildung an einem Wandsockel.

Bei der Festlegung der Entnahmestellen von Proben an den Stützenfüßen sind stets das Gefälle des Bodens und die Entwässerung zu beachten. Pfützenbildungen sind oft deutliche Indizien dafür, dass hohe Chloridbelastungen vorliegen. Abgetrocknete Pfützen hinterlas-

sen meistens sichtbare Feuchteränder. Wird die Untersuchung im Winter durchgeführt, können die Pfützen auch bei abgetrocknetem Zustand anhand von Salzrändern (Abbildung 4) deutlich lokalisiert werden. Oftmals hilft auch ein Vor-Ort-Termin an einem Regentag, oder noch besser, an einem Tag mit Schneematsch.

3.5 Konstruktive Ausbildung

Für das Anstehen von Wasser bei Pfützen ist die konstruktive Ausbildung des Stützenfußes maßgeblich. Hierbei ist stets zu prüfen, ob eventuell eine leichte Vertiefung direkt vor der Stütze vorliegt. Hier kann lange Zeit chloridhaltiges Wasser stehen bleiben. Im Gegensatz dazu ermöglicht eine Hohlkehle oder ein Keil am Stützenfuß die Abweisung des Wassers von der Stütze.

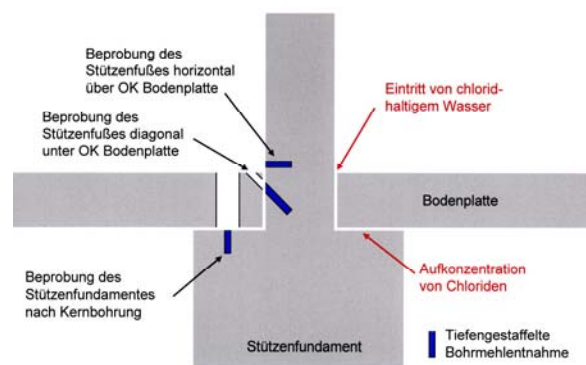


Abb.5: Konstruktive Situation bei Bodenplatten, die auf den Stützenfundamenten aufliegen.

Problematisch ist die Ausbildung einer Fuge in Bodenplatten vor den Stützen. Meist sind diese Fugen nur mit Fugendichtstoffen gefüllt, die unbemerkt über die Jahre die Haftung an den Fugenflanken verloren haben oder sich weitgehend gelöst haben. Ist dies der Fall, kann chloridhaltiges Wasser in diese Fuge eindringen und sich dort verteilen und darüber hinaus auf der Oberseite des Stützenfundamentes aufkonzentrieren (Abbildung 5). Liegt eine solche Konstruktion vor, muss der Bereich unbedingt ebenfalls beprobt werden. Dazu ist entweder ein Bereich der Bodenplatte vor der Stütze auszubauen, so dass Bohrmehlproben am Stützenfundament entnommen werden können oder es sind geeignete Bohrkernbohrer zu entnehmen. Letzteres ist aber direkt an der Stütze meist nur schwer zu bewältigen. Außerdem muss auch der vertikale Bereich der Stütze unterhalb der Oberkante der Bodenplatte untersucht werden. Dies ist mittels langen Diagonalbohrungen möglich (Abbildung 5).

3.6 Beschichtungen

Weisen Stützenfüße eine Abdichtung oder ein geeignetes Oberflächenschutzsystem auf, sollte man im Allgemeinen davon ausgehen können, dass dort die Chloridgehalte gering sind. Allerdings ist auch hier Vor-

sicht geboten. Vielfach ist nicht bekannt, ob eine solche Abdichtung bereits beim Errichten des Gebäudes oder erst später ausgeführt wurde. Bei letzterem Fall stellt sich dann die Frage, ob zuvor der chloridhaltige Beton fachgerecht entfernt wurde, oder ob hohe Chloridgehalte eingeschlossen wurden. Außerdem können bereits feine Risse in solchen Abdichtungen es den chloridhaltigen Wässern ermöglichen, einzudringen. Deshalb sollten solche Stützenfüße ebenfalls – wenn auch in geringer Anzahl – bei einer ersten Bestandsaufnahme mit beprobt werden.

Vorsicht ist geboten, wenn Stützen lediglich einen dünnen Anstrich aufweisen. Hier haben unsere Erfahrungen gezeigt, dass gewisse Anstriche Chloride abhalten können, bei anderen Objekten hingegen wurden in solchen Stützen teils sehr hohe Chloridgehalte festgestellt. Aber hier ist oftmals auch nicht allein der Anstrich maßgeblich, sondern die restliche konstruktive Ausbildung der Stütze. Die chloridhaltigen Wässer können auch über eine nicht beschichtete Bodenplatte in die Stützenfüße gelangen. Außerdem ist auch hier oft nicht bekannt, zu welchem Zeitpunkt der Anstrich aufgebracht wurde. Vielfach wurden früher Parkhäuser und Tiefgaragen in Sichtbeton erstellt, die dann im Zuge der ersten Schönheitskorrekturen mit einem weißen Anstrich versehen wurden, um bessere Lichtverhältnisse zu schaffen.

Bei dem in Abbildung 6 gezeigtem Zustand allerdings erübrigt sich die Frage, wie die Chloride in die Stützen gelangen konnten, weil der Anstrich im hoch belasteten Bereich bereits nicht mehr vorhanden war. Oftmals werden ungeeignete Anstriche sehr schnell durch Wasser-, Schmutz- und Salzbelastung geschädigt – im Gegensatz zu fachgerechten Oberflächenschutzsystemen. Solche Anstrichabblätterungen legen immer den Verdacht auf eine hohe Chloridbelastung nahe.



Abb.6: Abblätterungen des Anstrichs an einem Stützenfuß.

3.7 Chlorideindringtiefe

Bei der Beprobung von Stützenfüßen stellt sich immer wieder die Frage, aus welchen Tiefen die Proben entnommen werden sollen und welche Unterteilung sinnvoll ist. Dies hängt zum einen mit der möglichen Ein-

dringtiefe der Chloride am Bauwerk zusammen, zum anderen aber auch mit dem in Frage kommenden Instandsetzungsverfahren.

Handelt es sich um ein älteres Objekt, welches bereits lange Zeit dem Einfluss von Chloriden unterlag, muss damit gerechnet werden, dass die Chloride tief in den Beton eingedrungen sind. Dabei wird aber immer wieder beobachtet, dass die Eindringtiefe auch maßgeblich von der Betonqualität abhängig ist. Bei hochfesten, dichten Betonen, die ein geschlossenes Gefüge und einen geringen Porenanteil aufweisen (z. B. manche Fertigteilstützen) zeigt sich oft, dass die Chloride nicht sonderlich tief in den Beton eingedrungen sind. Bei Ortbetonkonstruktionen mit geringen Betondruckfestigkeiten und porösem Betongefüge ist eine höhere Eindringtiefe zu erwarten.

Bezüglich der Unterteilung hinsichtlich der Entnahmetiefen muss im Einzelfall unterschieden werden. Wird eine hohe Chloridkonzentration auch in der Tiefe erwartet, ist eine zentimetergenaue Unterteilung wenig sinnvoll, da sonst eine große Probenanzahl benötigt wird. Hier bietet sich eine Staffelung in Zweizentimeterschritten an (z. B. 0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm). Wenn bereits bekannt ist, dass die Chloride nicht sonderlich tief in den Beton eingedrungen sind, z. B. durch eine bereits erfolgte erste Analysenreihe, dann bietet es sich an, eine feinere Abstufung, z. B. in Zentimeterschritten, zu wählen.

Bei der Staffelung ist möglichst auch die in Frage kommende Instandsetzungsmethode zu berücksichtigen (z. B. statische Vorgaben zum Betonabtrag, "Chloridreservoir"; siehe Abschnitt 5.2).

Aus vielen untersuchten Objekten ergibt sich ein nach innen abnehmender Chloridgehalt, wie in Abbildung 3 dargestellt. Vielfach wurde in der Vergangenheit jedoch von uns auch beobachtet, dass eine andersartige Chloridverteilung vorliegen kann, nämlich die in Abbildung 7 gezeigte Verteilung. Hieran wird deutlich, dass die höchsten Chloridgehalte nicht zwangsläufig in den äußeren Zentimetern anzutreffen sind, sondern in tieferen Betonzone. Diese Verteilung tritt häufig bei unbeschichteten Betonböden auf, sie kann aber auch an Stützenfüßen und an Wandsockeln auftreten. Diese Verteilung ist auf einen "Auswascheffekt" zurück zu führen. Bei hoher Wasserbelastung in denjenigen Jahreszeiten, in denen keine Tausalz-Belastung vorliegt, kommt es zu einer Auswaschung der Chloride in der oberflächennahen Betonzone. Solche Auswaschungen werden dann hauptsächlich an solchen Stützensseiten vorgefunden, die zu den Hauptfahrgassen orientiert sind und sich nahe der Einfahrt befinden. Auch eine regelmäßige intensive Nassreinigung kann einen solchen Auswascheffekt nach sich ziehen.

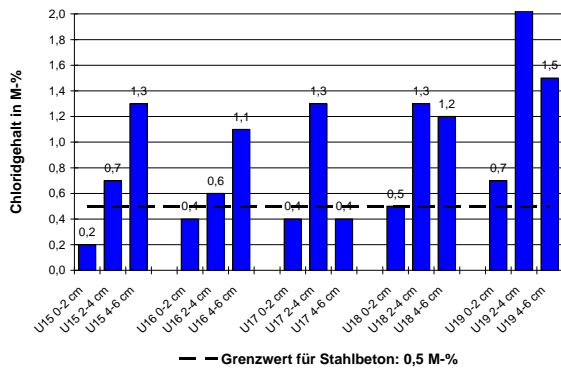


Abb.7: Chloridverteilung mit Auswascheffekt (beispielhaft zusammengestellte Messwerte verschiedener Objekte).

Risse im Stahlbeton können das Eindringen von chloridhaltigem Wasser begünstigen. Außer den Chloriden können auch andere Substanzen (z. B. Öle) eindringen. Neben diesen Fremdbestandteilen kann es auch zu einer Aufkonzentration von Chloriden im Riss kommen. Für die Beurteilung des Chloridgehaltes im Beton müssen daher die Proben neben den Rissen entnommen werden und dürfen nicht direkt den Riss erfassen.

4. Repräsentative Untersuchungen

4.1 Grundsätze für die erste Bestandsaufnahme

Das Ziel bei einer ersten Bestandsaufnahme der Chloridverteilung in Stützenfüßen ist in erster Linie, ein möglichst genaues Bild der Chloridverteilung zu bekommen. Dabei sollten die am höchsten belasteten Stützen vollumfänglich erfasst werden, aber auch solche Bereiche, die nur geringe Chloridbelastungen aufweisen. Mit diesem Bild kann dann bereits in einer ersten Stufe ein geeignetes Instandsetzungskonzept erstellt werden, bei dem bereits abschätzbar ist, wie viele Stützen in welcher Weise bearbeitet werden müssen.

Um ein möglichst genaues Bild der Chloridverteilung in den Stützenfüßen von Verkehrsbauten zu erhalten, sind die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Erfahrungen hilfreich. Werden diese "Tipps für das Auffinden von hohen Chloridvorkommen" beachtet, so können meist mit großer Sicherheit die am stärksten betroffenen Stützen heraus gefunden werden.

Sehr häufig ist auch eine mehrstufige erste Bestandsaufnahme sinnvoll. D. h. es werden zunächst einige Chloridproben analysiert, bevor weitere Proben entnommen werden. Anhand der ersten Ergebnisse kann dann festgelegt werden, welche Stützen in welchen Bereichen noch intensiver untersucht werden müssen oder welche Tiefenstaffelung sich besser eignet. Wichtig hierbei ist, dass dann bereits bei der ersten Probenserie die augenscheinlichen Befunde an den Stützen bezüglich des Zustandes, der konstruktiven

Ausbildung etc. aufgenommen werden. Anhand dieser Befunde lassen sich die Stützen oftmals in Klassen ähnlicher Chloridgehalte einteilen, die für das Instandsetzungskonzept benötigt werden.

4.2 Reduzierung der Anzahl der Proben

Um dem Bauherren Kosten zu ersparen, ist es notwendig, die Anzahl der Proben auf das notwendige Maß zu beschränken. Hierbei helfen folgende Strategien:

- Beprobung der am stärksten belasteten Stützen
- Beprobung wenig frequentierter Bereiche
- Bildung von Klassen ähnlicher Chloridgehalte auf Basis der augenscheinlichen Befunde an den Stützen

Gefährlich ist die Vorgehensweise, zwar viele Stützen zu untersuchen, aber die Untersuchung auf die oberflächennahe Betonzone zu begrenzen (z. B. nur Entnahmetiefe 0-2 cm). Diese Methode wird oftmals unter der Annahme angewendet, dass stets eine nach innen abnehmende Chloridkonzentration vorläge (Abbildung 3). Dies ist aber nicht immer der Fall. Aufgrund des Auswascheffektes kommt es erfahrungsgemäß oftmals zu Situationen, bei denen in tieferen Betonzonen (z. B. 2-4 cm) deutlich höhere Chloridgehalte vorliegen als in der oberflächennahen Zone (Abbildung 7). Wird dann nur die äußere Betonzone beprobt, bleiben hohe Chloridgehalte direkt an der Bewehrung oft unentdeckt. Eine solche Reduzierung der Chloridanalysen ist nur in wenigen Fällen möglich (z. B. bei nicht spritzwasserbelasteten Stützenfüßen und in nicht regelmäßig gereinigten Bauten), oder nach einer bereits erfolgten ersten Analysenserie, die bestätigt hat, dass beim betroffenen Objekt in tieferen Betonzonen der Chloridgehalt nicht erhöht ist.

Wer jedoch annimmt, man könnte mit einigen wenigen Proben (z. B. den oftmals ausgeschriebenen 10 Analysen) eine repräsentative Untersuchung durchführen, der täuscht sich. Erfahrungsgemäß müssen bei einer Tiefgarage mit insgesamt 200 Stützenfüßen durchaus um die 50 Stützenfüße an einer Seite beprobt werden (mal 3 Tiefen = 150 Analysen), um ein ausreichend genaues Bild der Chloridverteilung zu erhalten. Bedenkt man aber, dass bei diesen 200 Stützen à vier Seiten mal 3 Tiefen insgesamt 2.400 Analysen möglich wären, so sieht man sehr schnell, dass im Vergleich zur Gesamtmenge der möglichen Analysen durchaus mit einer "geringen" Probenanzahl gearbeitet werden kann.

5. Schutz und Instandsetzung von chloridbelasteten Stützenfüßen

5.1 Grundsätzliche Instandsetzungs-Methoden

Um mit Chloriden belastete Stützenfüße instand zu setzen, stehen im Grundsatz folgende Methoden zur Auswahl:

- **Betonabtrag** in Verbindung mit weiteren Maßnahmen (Begrenzung des Wassergehaltes, Beschichtung, Abdichtung); Grundsatzlösungen nach Instandsetzungs-Richtlinie [2]
- Kathodischer Korrosionsschutz (**KKS**)
- Elektrochemischer Chloridentzug

Es muss stets im Einzelfall entschieden werden, welche dieser Methoden objektbezogen zum Einsatz kommen soll. Hierbei spielen stets wirtschaftliche Aspekte eine Rolle, sowie die technische Umsetzung bei der Instandsetzung.

5.2 Reduzierung des Betonabtrages durch Chloriduntersuchungen

Bei der klassischen Instandsetzung mittels Betonabtrag können umfangreiche Chloriduntersuchungen im Einzelfall den Sanierungsumfang und/oder die Instandsetzungskosten deutlich reduzieren.

Liegt ein repräsentatives Bild der Chloridverteilung als Grundlage für die Instandsetzungsplanung vor, so muss eine Grundsatzentscheidung vom Sachkundigen Planer getroffen werden:

- a.) Alle Stützen werden gleichermaßen instand gesetzt: Die Abtragtiefe wird gemäß dem höchsten ermittelten Chloridgehalt festgelegt und für gleichartige Bauteile übertragen. Möglicherweise ist auch eine Klassenbildung möglich, so dass Stützen einer Klasse gleichartig behandelt werden können.
- b.) Sämtliche Stützen werden auf jeder Stützenseite im Zuge der Instandsetzung beprobt und separat behandelt (z. T. unterschiedliche Abtragstiefen pro Stützenseite an einer Stütze).

Dabei ist stets die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Methoden zu betrachten. Bei einem „einfachen“ Bauwerk, welches oberseitig kaum Lasten aufweist, ist es meist kostengünstiger, alle Stützen gleichartig zu behandeln (Vorgehensweise a.)), da Abstützmaßnahmen und Betonabtrag nicht so kostenintensiv sind im Vergleich zu den Kosten, alle Stützenfüße auf allen vier Seiten zu beproben. Man muss nämlich dabei berücksichtigen, dass für jede Stütze 4 Seiten mal 3 Entnahmetiefen gleich 12 Chloridproben erforderlich sind. Allein diese Untersuchung stellt einen großen Kostenpunkt dar. Die Vorgehensweise b.) bietet sich dann an, wenn Abstützmaßnahmen aufgrund hoher Lasten (z. B. Tiefgarage mit hohem Gebäude darüber) sehr aufwändig sind und die Stützen beispielsweise mittels Pressen

entlastet werden müssen. Wenn sich hier einzelne Stützenseiten oder sogar ganze Stützen ausschließen lassen, rechnen sich die Chloridanalysen relativ schnell. Zu Berücksichtigen ist hierbei aber auch, dass ein gewisser zeitlicher Vorlauf notwendig ist, da die Beprobung, Auswertung und Festlegung der Maßnahmen an den einzelnen Stützen unter Umständen deutlich zeitintensiver ist, als eine "Standard-Maßnahme" an allen Stützen. Dabei ist aber von Vorteil, dass die Beprobung außerhalb der Nutzungszeit der Tiefgarage erfolgen kann. Die Tiefgarage kann für die Dauer der Probenentnahmen, der Auswertung und der Planung des Betonabtrages für die einzelnen Stützen in Betrieb bleiben. Damit kann bei dieser Methode der Nutzungsausfall deutlich reduziert werden, wenn nicht alle Stützen behandelt werden müssen. Die Beprobung aller Seiten sollte dann natürlich im Vorfeld der eigentlichen Instandsetzung erfolgen.

Die Entscheidung für die zweckmäßige Vorgehensweise liegt beim Sachkundigen Planer und ist stets objektbezogen zu treffen. Oftmals bietet sich auch ein Mittelweg an, da sich bei bestimmten Objekten die Stützen in verschiedene Klassen einteilen lassen, in denen dann die Stützen einer Klasse gleichartig behandelt werden können. Dadurch lassen sich die Chloridanalysen auf ein wirtschaftlich optimales Maß reduzieren, ohne dabei die Ergebnissicherheit zu verlieren.

Im Einzelfall ist bei hohen Betonabträgen zu entscheiden, ob es nicht kostengünstiger ist, ein Bauteil oder Teile eines Bauteiles zu ersetzen.



Abb.8: Aufbringen eines "Chloridreservoirs" am Stützenfuß durch eine zusätzliche Betonschicht.

In vielen Fällen kann es auch sinnvoll sein, zusätzlich zum Betonabtrag ein sogenanntes "Chloridreservoir" um den Stützenfuß herum auszubilden. Dies geschieht durch eine zusätzliche Betonschicht um den Stützenfuß herum (Abbildung 8) Werden verbleibende Chloride im Altbeton belassen, so werden diese im Laufe der Zeit in den neuen chloridfreien Beton diffundieren. Der

Chloridgehalt im Altbeton nimmt damit also ab. Voraussetzung ist eine funktionsfähige Abdichtung, die verhindert, dass neue Chloride von außen in das Chloridreservoir eingetragen werden. Eine solche Maßnahme muss vom Sachkundigen Planer konzipiert werden.

Literatur

- [1] U. Nürnberger: *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen*, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1995
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie)*; Teil 1 bis 4; Beuth Verlag; Berlin 2001
- [3] G. Rieche, S. Wehrle: *Planung von Instandsetzungsmaßnahmen bei Parkhäusern aus Stahlbeton*. Handbuch der IBK-Bau-Fachtagung 130 am 5./6. Juni 1991 in Essen, Seite 10/1 bis 10/20
- [4] G. Rieche, S. Wehrle: *Baupraktische Erfahrungen bei der Instandsetzung chloridbelasteter Parkhäuser aus Stahlbeton; Schadensdiagnose, Instandsetzungsmaßnahmen, Erfahrungen*; Materials and Corrosion 53, Seite 401 - 407; 2002
- [5] G. Rieche: *Korrosionsschutz der Bewehrung*; Vortrag an der Technischen Akademie Esslingen im Rahmen des Lehrganges Sachkundiger Planer für Schützen, Instandsetzen und Verstärken von Stahlbeton; 2011
- [6] Heft 401 des DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton): *Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton; Schnellbestimmung des Chloridgehaltes von Beton; Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton durch Direktpotentiometrie*; Beuth Verlag, Berlin, 1989