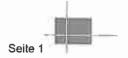


INSTANDSETZUNG CHLORIDBELASTETER STAHLBETONBAUWERKE AM BEISPIEL VON TIEFGARAGEN

Dr.-Ing. Ch. Sodeikat Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München



1 VORBEMERKUNG

An praktisch allen Bauwerken treten im Laufe der Nutzungsdauer früher oder später Mängel auf, die instand gesetzt werden müssen. Die Praxis zeigt allerdings, dass gerade im Bereich der Bauwerksinstandsetzung häufig nicht die gleiche Sorgfalt an den Tag gelegt wird, wie dies bei einem Neubau der Fall ist. Gründe hierfür sind zum einen, dass Instandsetzungskosten erstmals als lästig empfunden werden und man solche Kosten von vornherein gar nicht eingeplant hat, zum anderen wird die Tragweite vorhandener Schäden häufig nicht erkannt. Gerade Instandsetzungen können jedoch weitaus schwieriger sein als die Erstellung eines Neubaus. Von entscheidender Bedeutung für einen dauerhaften Instandsetzungserfolg ist das Erkennen der jeweiligen Schadensursachen und das Fachwissen, auf die Schadensursachen abgestimmte Instandsetzungskonzepte auszuwählen und letztlich dann fachgerecht umzusetzen.

In nur wenigen Bereichen der Bauwerksinstandsetzung wird so fehlerhaft gearbeitet wie bei der Abdichtung und Reprofilierung von Beton- und Stahlbetonbauteilen. Dies liegt häufig daran, dass eine hohe Unkenntnis darüber besteht, welche ernsthaften Konsequenzen, hingehend bis zu einem Bauwerkseinsturz, fehlerhafte Instandsetzungen nach sich ziehen können. Die Planung von Abdichtungs- und Reprofilierungsarbeiten von Stahlbetonbauteilen ist eine typische Ingenieuraufgabe, auch wenn dies vielfach noch anders gesehen und gehandhabt wird. Zur Planung der auszuführenden Instandsetzungsarbeiten nach Ausführungsart und -umfang, Instand-

setzungsmaterialien, durchzuführende Prüfungen etc. liegen detaillierte Regelwerke vor, z.B. die Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen Rili-SIB 2001 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Instandsetzungsrichtlinie) [1], deren Umsetzung aus rechtlichen und technischen Gründen geboten ist.

Die Forderung, dass die Instandsetzung von schadhaften Stahlbetonbauteilen von Fachleuten zu planen und durchzuführen ist, ist im Übrigen keine bloße Wunschvorstellung von entsprechenden Spezialisten, sondern spiegelt die aktuelle Gesetzeslage
wider. Instandsetzungsarbeiten an Beton- und Stahlbetonbauteilen müssen entsprechend der Rili-SIB
2001 durchgeführt werden, da diese Vorschrift bauaufsichtlich eingeführt und in die Bauregelliste aufgenommen wurde. Planer und Ausführende, die
gegen die Instandsetzungsprinzipien der Rili-SIB
verstoßen, können sowohl zivilrechtlich wie auch
strafrechtlich, z.B. bei Personenschaden durch ein
evtl. Bauteilversagen, haftbar gemacht werden,

Beton- und Stahlbetonbauteile können durch eine Vielzahl unterschiedlichster Mechanismen angegriffen werden, wobei allgemein zwischen Betonkorrosion und Bewehrungskorrosion unterschieden wird. Der sachkundige Planer muss in jedem Einzelfall herausfinden, welcher oder welche Schadensmechanismen ursächlich sind.

Bezüglich der Bewehrungskorrosion wird, von Sonderfällen (z.B. bei vorgespannten Bauwerken) einmal abgesehen, zwischen carbonatisierungs- und chloridinduzierter Korrosion unterschieden.



2 CARBONATISIERUNGSINDUZIERTE BEWEHRUNGSKORROSION

2.1 Grundlagen

Dringt Kohlendioxid in das Porengefüge des Betons ein, so reagiert es dort chemisch mit dem Calciumhydroxid des Betonporenwassers. Bei dieser Reaktion wird der ph-Wert des Porenwassers von etwa 12,5 (hochalkalisch) auf unter 9,5 (gering alkalisch) abgesenkt. Durch die Absenkung des ph-Werts verliert der Stahl seinen Korrosionsschutz (die Passivierungsschicht) und liegt dann korrosionsbereit vor. Handelt es sich um ein freibewittertes Außenbauteil oder um ein Bauteil, zu dem feuchte Luft Zugang hat, so ist mit Korrosionsschäden zu rechnen. Das Schadensbild dieser carbonatisierungsinduzierten Korrosion ist das häufigste Schadensbild an Stahlbetonbauteilen überhaupt: über der korrodierenden Bewehrung treten zuerst Risse auf, dann bilden sich oft Rostfahnen, schließlich entstehen erst kleine, später größere Betonabplatzungen und auch Hohllagen in der Betondeckung.

Der Widerstand von Stahlbetonbauteilen gegenüber carbonatisierungsinduzierter Korrosion lässt sich deutlich erhöhen, indem man Betone mit einem dichten Gefüge und eine ausreichend dicke Betondeckung vorsieht.

Die Carbonatisierungsfront stellt sich als eine sehr klare Grenze im Beton dar. Die Bestimmung der Carbonatisierungstiefe ist von großer baupraktischer Bedeutung, wenn eine Bestandsaufnahme zur Abschätzung der Korrosionsgefahr vorgenommen wird. Die Messung selbst ist sehr einfach, auf frische Betonbruchflächen werden pH-Wert-Indikatoren aufgesprüht. Erfolgt ein Farbumschlag, ist der Beton nicht carbonatisiert, erfolgt kein Farbumschlag, ist er carbonatisiert.

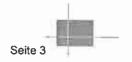
Die Instandsetzungsmöglichkeiten von Stahlbetonbauteilen mit carbonatisierungsinduzierter Korrosion sind in der Rili-SIB aufgeführt. Vor der Ausführung von Instandsetzungsmaßnahmen sollte eine gründliche Bestandsanalyse erfolgen, anschließend ist unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen das günstigste Instandsetzungskonzept auszuwählen. Durch die Auswahl des geeignetsten Instandsetzungsverfahrens können hohe Kosten eingespart werden, zum einen, in dem man teure Fehlschläge vermeidet und zum anderen, indem man eine Variante wählt, die ausreichend ist, aber aus technisch gebotener Sicht nicht über das Ziel hinaus schießt.

Um die grundsätzlichen Möglichkeiten zu verdeutlichen, werden im Folgenden die Instandsetzungsprinzipien nach Rili-SIB kurz dargestellt und erläutert.

Instandsetzungsprinzip R – Korrosionsschutz durch Wiederherstellung des alkalischen Milieus

Bei diesem Instandsetzungsprinzip wird auf der Stahloberfläche erneut eine Passivschicht erzeugt. Dies erfolgt durch die Applikation von zementgebundenen Instandsetzungsstoffen. Diese Art der Instandsetzung ist die übliche Instandsetzungsvariante von korrosionsgeschädigten Stahlbetonbauteilen. Die Ausbesserung erfolgt entweder flächig oder nur lokal begrenzt.

Bei der flächigen Ausbesserung wird über die Fehlstellenbereiche und über die gesamte Betonoberfläche eine Beschichtung bzw. Schicht aus zementgebundenem Beton oder Mörtel aufgebracht. Wichtig ist, dass der Altbeton nur soweit abgetragen werden muss, wie er infolge von Bewehrungskorrosion gelockert und gerissen ist. Allerdings darf der Beton nicht mehr als 20 mm hinter die äußerste Bewehrungslage carbonatisiert sein. Die flächige Ausbesserung ist



sinnvoll, wenn die Carbonatisierungstiefe in großen Bauteilbereichen bereits die Bewehrung erreicht hat und/oder die Bereiche nur eine sehr geringe Betondeckung aufweisen.

Die lokale Ausbesserung wird angewendet, wenn nur in örtlich eng begrenzten Bereichen Korrosion aufgetreten ist, z.B. infolge von örtlichen großen Carbonatisierungstiefen (im Bereich von Kiesnestern etc.) oder in Bereichen mit nur örtlich zu geringer Betondeckung. Wichtig ist, dass der gesamte Stahl, der in carbonatisiertem Beton liegt, freigelegt wird, unabhängig davon, ob er Korrosion aufweist oder nicht. Ansonsten besteht die Gefahr, dass zwar bei den zurzeit der Instandsetzungsmaßnahme korrodierenden Stahlbereichen die Korrosion gestoppt wird, nach der Instandsetzung aber die noch nicht korrodierenden, aber korrosionsbereiten Stahlbereiche anfangen zu korrodieren. Nach der Reprofilierung ist der gesamte Bereich zu beschichten. Das Verfahren darf nur angewendet werden, wenn nach der Instandsetzung die Betondeckung mindestens 10 mm beträgt.

Instandsetzungsprinzip W ~ Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes

Der Korrosionsprozess von Stahl in Beton entspricht einem geschlossenen Stromkreislauf, ähnlich den Vorgängen in einer Batterie. Um den Stromkreislauf zu schließen, muss der Beton einen gewissen Mindestwassergehalt aufweisen. Das Instandsetzungsprinzip W beruht nun auf einer Absenkung und Vergleichmäßigung des Wassergehaltes, so dass der Korrosionskreislauf unterbrochen wird. Erreicht wird dieses Austrocknen des Betons durch die Applikation von Beschichtungssystemen, die einerseits den Zutritt von Wasser von der Betonoberfläche her abhalten und andererseits aber durch ihre geringe Dampfdichtheit das Austrocknen von innen ermöglichen. Wichtig ist, dass der Beton im Bereich von

Fehlstellen und im Bereich von korrodierendem Stahl abgearbeitet wird.

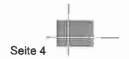
Da Beschichtungssysteme nur eine begrenzte Lebensdauer aufweisen, müssen sie regelmäßig überprüft und ggf. instand gesetzt werden. Ein Instandhaltungsplan ist vom Planer aufzustellen.

<u>Instandsetzungsprinzip C – Korrosionsschutz durch</u> <u>Beschichtung der Bewehrung</u>

Das Instandsetzungsprinzip C besteht aus einer stahlbaumäßigen Beschichtung des Bewehrungsstahls. Es ist anzuwenden, wenn die Instandsetzungsprinzipien R und W nicht angewendet werden können. Aus eigener Erfahrung ist vor diesem Prinzip jedoch eindringlich zu warnen, weil bereits kleinste Fehlstellen in der Beschichtung, zum Beispiel im Kreuzungspunkt von Bewehrungsstäben, zu örtlich sehr hoher Korrosionsaktivität führen können. Nach Rili-SIB muss der sachkundige Planer auf diese Gefahr in seinem Instandhaltungsplan sogar ausdrücklich hinweisen. Gerade das Instandsetzungsprinzip C wird häufig in völliger Unkenntnis der technischen Zusammenhänge falsch angewendet.

3 MECHANISMUS DER CHLORIDINDU-ZIERTEN KORROSION

Betonstahl ist in "gesundem Beton" vor Korrosion geschützt, da sich infolge des hochalkalischen Milieus eine mikroskopisch dünne Oxidschicht bildet, die weitere Korrosionsprozesse verhindert. Der Vorgang dieser Oxidschichtbildung wird als Passivierung bezeichnet. Da Beton ein poröser Baustoff mit einem durchgängigen Kapillarporensystem ist, können jedoch Wasser und insbesondere korrosionsfördernde Stoffe wie Tausalze und Kohlendioxid aus der Luft in das Betongefüge eindringen. Erreichen korrosionsfördernde Stoffe in einer kritischen Konzentration die



Umgebung der Bewehrung, wird die Passivierungsschicht lokal oder großflächig aufgebrochen, der Stahl liegt dann korrosionsbereit vor.

Die Ermittlung der Korrosionsursachen schadhafter Stahlbetonbauteile, die richtige Einschätzung der ablaufenden Korrosionsprozesse und das Fachwissen, wie laufende Korrosionsprozesse dauerhaft gestoppt werden können, sind die Grundvoraussetzung für einen dauerhaften Instandsetzungserfolg. Leider kann jedoch in der Praxis bei durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen noch sehr häufig beobachtet werden, dass die Instandsetzung korrodierender Bewehrungsbereiche aus einem mehr oder weniger gründlichen Entfernen entfestigter Betonbereiche, dem anschließenden Bestreichen des Bewehrungsstahls mit dubiosen Anstrichmitteln und einem abschließenden Zuspachteln besteht. Die falsche Anwendung von Instandsetzungsmaßnahmen ist im günstigsten Fall unwirksam, im schlimmsten Fall wird eine vorher langsam ablaufende Korrosion drastisch beschleunigt. Da durch Bewehrungskorrosion in den meisten Fällen die Standsicherheit von Gebäuden betroffen ist, muss die Beurteilung der ablaufenden Korrosion und deren Instandsetzung immer durch einen erfahrenen Fachmann erfolgen.

Chloridinduzierte Korrosion entsteht, wenn (Tau) Salze aus dem Winterdienst, nach PVC-Bränden oder durch Meerwasser in einer kritischen Konzentration bis zur Bewehrung vordringen können. Während die Korrosionsmechanismen und die Instandsetzungsmöglichkeiten bei der carbonatisierungsinduzierten Korrosion noch vergleichsweise einfach sind, stellt die richtige Einschätzung der Korrosionsverhältnisse bei der chloridinduzierten Korrosion ein äußerst schwieriges und komplexes Problem dar.

Das Schadensbild der chloridinduzierten Korrosion äußert sich in der Regel in einer örtlich sehr stark

konzentrierten Eisenauflösung. Je nach Ausbildung der Korrosionsnarben spricht man von Lochfraßkorrosion oder, wenn viele Lochfraßnarben zusammenwachsen, auch von Muldenfraßkorrosion. Der eigentliche Rostprozess verläuft bei Sauerstoffmangel. wie er z.B. in Tiefgaragen unter Asphaltbelägen auftreten kann, nicht wie bei der carbonatisierungsinduzierten Korrosion mit einer Volumenzunahme der Korrosionsprodukte, d.h. die Betondeckung wird nicht abgesprengt. Dies bedeutet, dass chloridinduzierte Korrosion häufig wesentlich schwerer zu entdecken ist. Da die Eisenauflösung örtlich sehr konzentriert und tief sein kann, ist auch der Tragfähigkeitsverlust der Bewehrung sehr viel größer als bei der carbonatisierungsinduzierten Korrosion. Dies macht diese Korrosionsart sehr gefährlich.

Das Eindringen von Chloriden erfolgt nicht wie bei der Carbonatisierung als klare Grenze, vielmehr bildet sich im Bereich der Betondeckung ein Konzentrationsgefälle aus. Die größten Konzentrationen sind normalerweise im Bereich der Betonoberfläche zu finden, weiter im Inneren nimmt die Konzentration in der Regel ab. Die Ermittlung der Korrosionsgefahr anhand der Konzentration der eingedrungenen Chloride muss deshalb tiefenabhängig erfolgen. Leider kann man auch keinen allgemein gültigen Wert für die kritische Chloridkonzentration angeben, da die Korrosionsgefahr von einer Reihe weiterer Faktoren (z.B. dem Feuchte- und Sauerstoffgehalt, dem verwendeten Zement, den konstruktiven Bedingungen der Nachbarbereiche, dem ph-Wert des Betons etc.) abhängt. Die richtige Beurteilung aller vorhandener Randbedingungen ist für einen Instandsetzungserfolg von entscheidender Bedeutung und kann nur von erfahrenen Spezialisten vorgenommen werden.



4 KONVENTIONELLE INSTANDSETZUNG CHLORIDBELASTETER BAUTEILE

Im Folgenden wird die Instandsetzung chloridbelasteter Bauteile anhand von Beispielen und möglicher Fehlerquellen bei der Instandsetzung aufgezeigt. Als typische chloridbelastete Bauwerke werden dabei Parkhäuser und Tiefgaragen herangezogen.

Parkdecks von Tiefgaragen und Parkhäusern wurden in der Vergangenheit häufig ohne bzw. mit unzureichend geplanten und ausgeführten Abdichtungen, z.B. Beschichtungen, ausgeführt. Die Folge waren große chloridinduzierte Korrosionsschäden an der Bewehrung durch über die Fahrzeuge im Winter ständig eingeschleppte Tausalze. Bei der Instandsetzung von Tiefgaragen mit Chloridkorrosion sind insbesondere die Ausführungsdetails sorgfältig zu planen, um den Instandsetzungserfolg langfristig sicherzustellen. Im Folgenden werden einige mögliche Fehlerquellen, die z.B. bei der Instandsetzung von Tiefgaragen auftreten können, dargestellt.

Instandsetzung von Fahrbahnflächen

Für Korrosionsprozesse an Bewehrungsstahl ist ein gewisser Feuchtegehalt des Betons erforderlich, um den elektrolytischen Teil des Korrosionsstromkreislaufs schließen zu können. So genügt es beispielsweise bei der carbonatisierungsinduzierten Korrosion, das Bauteil weit genug auszutrocknen, um den Korrosionsprozess zu stoppen. Diese Austrocknung erfolgt in der Regel durch das Aufbringen von Oberflächenschutzsystemen, Grundsatzlösung (Instandsetzungsprinzip) W der Rili-SIB.

Dieses vergleichsweise leicht anzuwendende Instandsetzungsprinzip, d.h., den Korrosionsfortschritt durch Bauteilaustrocknung zu stoppen, verleitet leider noch häufig Instandsetzungsplaner, es auch unreflektiert bei der chloridinduzierten Korrosion

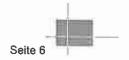
anzuwenden und dies ist sehr gefährlich (vor einiger Zeit erschien sogar in einer ansonsten renommierten Fachzeitschrift ein Artikel über eine derartig durchgeführte, aber letztlich vollkommen falsch ausgeführte Instandsetzungsmaßnahme). Die Rili-SIB gibt zur Instandsetzung durch Bauteilaustrocknung bei der chloridinduzierten Korrosion (Grundsatzlösung W-CL) deshalb auch folgenden Warnhinweis:

"Dieses Verfahren sollte nur angewendet werden, wenn durch Probeinstandsetzungen an Referenzflächen bzw. –bauteilen vor Ausführung der Instandsetzungsmaßnahme die Auswirkung der
Maßnahme auf den Korrosionsfortschritt der Bewehrung, z.B. durch Einbau geeigneter Korrosionsstrommessvorrichtungen, von einem sachkundigen Planer überprüft worden ist".
Zitat Rili-SIB.

Diese Überprüfung verlangt also den Einbau vergleichsweise komplizierter Messeinrichtungen im Vorfeld der Instandsetzungsmaßnahme. Der zeitliche Vorlauf zur Überprüfung der Wirksamkeit sollte mindestens 1 Jahr betragen, um gesicherte Aussagen über die Wirksamkeit zu erhalten. Aufgrund des großen Aufwands bereits im Vorfeld der Instandsetzungsmaßnahme rechnet sich die Grundsatzlösung W-CI nur bei sehr großen Instandsetzungsflächen und unter geeigneten Randbedingungen, welche üblicherweise nicht vorhanden sind.

U.a. sind folgende Gründe zu nennen, dass dieses Prinzip bei der Instandsetzung von Stahlbeton-bauteilen mit chloridinduzierter Korrosion nur sehr eingeschränkt ausführbar ist und die Wirksamkeit in jedem Einzelfall überprüft werden muss:

 Chloridinduzierte Korrosion kann bei wesentlich geringeren Feuchtegehalten ablaufen als carbonatisierungsinduzierte Korrosion (die Rili-SIB ver-



langt eine größere Wirksamkeit der Oberflächenschutzmaßnahme zur Absenkung des Wassergehaltes als dies bei der carbonatisierungsinduzierten Korrosion erforderlich ist).

- Chloride sind hygroskopisch, d.h., chloridbelastete Betonbauteile trocknen weniger und langsamer aus als unbelastete Betonbauteile.
- Grenzfeuchtegehalte für bestimmte Chloridgehalte, bei denen chloridinduzierte Korrosion ablaufen kann, können weder aus wissenschaftlicher noch aus technischer Sicht angegeben werden.
- Unterschiedliche Feuchte- und Chloridgehalte benachbarter Bauteilbereiche können zu starker Makrokorrosionselementbildung führen. Dies bedeutet, dass einzelne Bauteilbereiche quasi als "Korrosionsmotor" für andere Bauteilbereiche wirken können (für tiefergehende Erläuterungen wird auf die Fachliteratur verwiesen).

Daraus folgt, dass ein alleiniges Absenken der Bauteilfeuchte in der Regel nicht ausreichend ist, chloridinduzierte Korrosion zu stoppen. Mit Chloriden hochbelastete Betonbereiche müssen abgearbeitet werden. Eine zusätzliche Abdichtung, z.B. Beschichtung, verringert nach der Reprofilierung jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass bei gegebenen Chloridgehalten die Korrosionsprozesse fortschreiten. Da ein weiteres Vordringen von Chloriden nach erfolgten Instandsetzungsmaßnahmen in Zukunft sowieso vermieden werden sollte, ist in jedem Fall anzuraten, Oberflächenschutzmaßnahmen durchzuführen.

Instandsetzung von Rissbereichen und Gebäudefugen

Eine weitere, häufig anzutreffende Fehlerquelle bei der Instandsetzung von Fahrbahnflächen sind Rissund Fugenbereiche. Risse werden häufig gar nicht erst entdeckt oder wahrgenommen, Fugenbereiche werden nicht als Bereiche erkannt, die ebenfalls instand gesetzt werden müssen.

In einem konkreten Beispiel wurden in einer Tiefgarage bei den Fahrbahnflächen der Zwischendecks die obersten 5 cm des chloridbelasteten Betons abgetragen und anschließend reprofiliert. Die durchgehenden Risse (Trennrisse) wurden jedoch nicht in die ursprüngliche Instandsetzungsplanung mit einbezogen, und dies hätte, wenn die Instandsetzungsplanung nicht noch am Ende der Instandsetzungsmaßnahme geändert worden wäre, zu ernsthaften Konsequenzen führen können. Den schematischen Ablauf der Schadensentwicklung zeigt Bild 1.

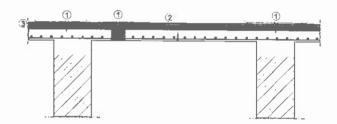
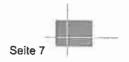


Bild 1: Schematische Abfolge der Schadensentwicklung in Rissbereichen und Bereichen ohne Risse. 1: Beaufschlagung mit tausalzhaltigem Wasser 2: Eindringen der Chloride in den Beton 3: Entstehung von chloridinduzierter Bewehrungskorrosion

Bei Trennrissen in Zwischendecks dringen die Chloride nicht nur von oben in den Beton ein, vielmehr finden sich erhöhte Chloridgehalte auch seitlich im Beton der Rissflächen und an der Deckenunterseite, wenn sich das durchdringende chloridbelastete Wasser unterseitig ausbreitet. Zum notwendigen Instandsetzungsumfang gehören deshalb auch das Ausräumen der chloridbelasteten Rissbereiche und der Unterseite. Häufig genügt ein seitliches Ausräumen der Rissbereiche beidseitig um etwa 5 bis 10 cm.



Die gleiche Problematik liegt auch bei Trennfugen und Konsolbereichen vor. Auch hier muss der gesamte chloridbelastete Beton, siehe Bild 2, grau unterlegt, entfernt werden.

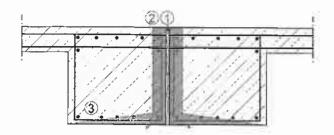
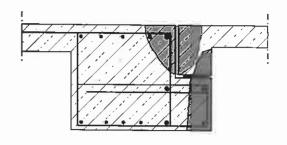


Bild 2: Schematische Abfolge der Schadensentwicklung in Fugenbereichen und an der Untersicht von Fugenbereichen, 1 - 3 siehe Bild 1

Problematisch sind insbesondere Trennfugen, die mit elastischen Fugeneinlagen hergestellt wurden. Diese Fugeneinlagen speichern eindringendes chloridbelastetes Wasser über lange Zeit und geben es kontinuierlich an den Beton ab.

Auch in Bereichen von Bauwerkskonsolen muss darauf geachtet werden, dass der gesamte chloridbelastete Beton entfernt wird. Es genügt nicht, nur den leicht zugänglichen Betonbereich zu entfernen, wie dies im oberen Teil von Bild 3 dargestellt ist.



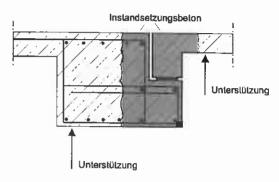
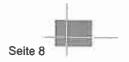


Bild 3: Unzureichende Entfernung des chloridbelasteten Betons in einem Fugen- und Konsolbereich (oberes Bild) und ausreichende Entfernung des chloridbelasteten Betons mit statischer Zwischenunterstützung (unteres Bild)

Instandsetzung von Stützen

Insbesondere bei älteren Parkdecks und Tiefgaragen wurden keine Abdichtungen an den Fußbereichen von Stützen und Wänden hochgezogen. Dies hat bei ungünstigen Gefälleausbildungen (Pfützenbildung in den Fußbereichen) zur Folge, dass chloridbelastetes Wasser kapillar in den Beton eindringt und je nach Betongüte einige Dezimeter nach oben gesaugt werden kann.

Im Zuge von Instandsetzungen muss deshalb unbedingt geklärt werden, inwieweit der Beton in Fußbereichen von Stützen und Wänden chloridbelastet ist und ob und in welchem Umfang Bewehrungsergänzungen erforderlich sind. Wie bei anderen Bauteilen auch muss chloridbelasteter Beton vollständig entfernt und reprofiliert werden, siehe Bild 4.



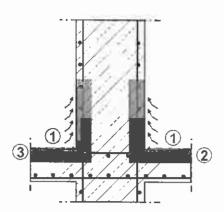


Bild 4: Schematische Abfolge der Schadensentwicklung im Fußpunktsbereich eines Stützen- oder Wandbereichs, 1 - 3 siehe Bild 1

Da Stützen hochbelastete Bauteile sind, müssen die Betonabtragsarbeiten von statischer Seite her begleitet werden, sonst kann u.U. die Tragsicherheit nicht mehr gegeben sein, siehe Bild 5 und Bild 6.



Bild 5: Ausgeknickte Bewehrung einer Stütze infolge Betonabtrag und fehlender Zwischenunterstützung



Bild 6: Korrekte Instandsetzung einer Stütze mit Zwischenunterstützung

Besonderes Augenmerk ist auf das Zubetonieren der Betonabtragsbereiche von Stützen und Wänden zu legen. Die Schalung sollte im Überstand nach oben geführt werden, um keine Betonierlücken im Stützenbeton infolge von Setzungen und Setzungsrissen zu erhalten, siehe Bild 7.

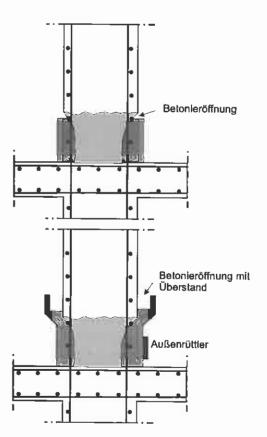
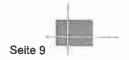


Bild 7: Unzureichende Betonage (oberes Bild), korrekte Betonage mit Überstand (unteres Bild)



5 MÖGLICHKEIT DES AUFFINDENS CHLORID-INDUZIERTER KORROSION

5.1 Allgemeines

Die Bestimmung des Ausmaßes von chloridinduzierter Korrosion ist nur durch Freilegung der Bewehrung und Bestimmung des Querschnittsverlustes möglich. Dies wird man in der Regel nur bei einem begründeten Verdacht tun. Die Gefahr einer möglichen chloridinduzierten Korrosion kann man im Wesentlichen durch zwei indirekte Verfahren abschätzen, dem Bestimmen des Chloridgehaltes im Bereich der Bewehrung und der sogenannten Potentialfeldmessung. Wegen der Komplexität der Zusammenhänge ist bei der Beurteilung chloridinduzierter Korrosion oder Korrosionsgefahr immer ein Fachmann auf diesem Gebiet einzuschalten.

5.2 Bestimmung des Chloridgehaltes (Chloridprofile)

Die Messung von Chloridverteilungen zur Beurteilung der Gefährdung der Bewehrung ist nicht in ähnlich einfacher Weise möglich wie dies bei der Ermittlung der Carbonatisierungstiefe der Fall ist. Normalerweise muss durch Entnahme von Bohrkernen und scheibchenweiser Ermittlung des Chloridgehaltes oder durch tiefenabhängige Bohrmehlentnahmen aus dem Beton ein Chloridprofil ermittelt werden, um die Korrosionsgefahr abschätzen zu können.

5.3 Elektrochemische Potentialfeldmessung

Eine effektive Untersuchungsmethode, chloridinduzierte Bewehrungskorrosion zerstörungsfrei auch in größeren Flächenbereichen aufzufinden, stellt die so genannte Potentialfeldmessung dar. Dabei werden die elektrischen Spannungen (elektrochemische Potentiale), die bei aktiven Korrosionsprozessen am Stahl entstehen, mit einem hochohmigen Spannungsmesser (Voltmeter) an der Betonoberfläche der betroffenen Stahlbetonbauteile gemessen, u.a. [2, 3, 4, 5, 6].

Das Prinzip der elektrochemischen Potentialfeldmessung ist hier anhand der stattfindenden Korrosionsmechanismen kurz erläutert, siehe **Bild 8**.

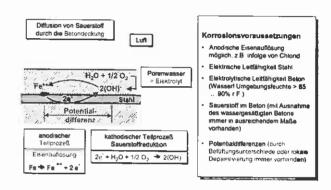
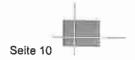


Bild 8: Korrosion von Bewehrungsstahl in Beton

An der Anode eines Korrosionselementes gehen die Metallionen in Lösung, die zurückbleibenden überschüssigen Elektronen wandem im Metall zur Kathode und reagieren an der Metalloberfläche mit Wasser und Sauerstoff zu Hydroxydionen, so dass im Metall und im Elektrolyten Ladungsgleichgewicht gegeben ist. Vereinfacht betrachtet entspricht die Korrosion in einem Korrosionselement den Vorgängen in einer Batterie mit einem elektrischen und einem elektrolytischen Teil eines Stromkreislaufes. Zur Ausbildung eines Makrokorrosionselementes müssen Potentialunterschiede (elektrische Spannungsunterschiede) an der Metalloberfläche zwischen Anoden und Kathoden vorhanden sein, um den Ladungstransport zu ermöglichen. Solche Potentialunterschiede sind auf Metalloberflächen durch Belüftungsunterschiede (Inhomogenitäten im Beton führen z.B. zu unterschiedlich starkem Luftzutritt) oder Deckschichtbildung immer vorhanden oder sie stellen sich bei beginnender Korrosion von selbst ein.



Unter dem elektrochemischen Potential versteht man im vorliegenden Fall die Ionisierbarkeit des Betonstahls im Beton. Beim Kontakt des Betonstahls mit dem Beton stellt sich in der Grenzschicht Beton/Betonstahl ein Gleichgewichtszustand zwischen den Eisenionen an der Betonstahloberfläche und den Elektronen im Betonstahl ein. Zur Aufrechterhaltung dieses Gleichgewichtszustandes ist ein elektrischer Spannungsunterschied zwischen Elektrolyt (Beton) und Metall (Betonstahl) in der Grenzfläche erforderlich, der als elektrochemisches Potential (dies entspricht der Ionisierbarkeit) des Metalls, im vorliegenden Fall des Betonstahls bezeichnet wird und der mit Hilfe von Bezugselektroden gemessen werden kann.

In anodischen Teilbereichen (den eigentlichen Rostbereichen) stellt sich wegen der Metallauflösung automatisch ein geringeres elektrochemisches Potential ein als in kathodischen Teilbereichen ohne Metallauflösung, so dass sich die für den Korrosionsablauf erforderliche Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode nach "Anspringen" eines Korrosionselementes automatisch einstellt. Die Messung dieser Spannungsdifferenz zwischen Anode und Kathode ist das eigentliche Prinzip der Potentialfeldmessung.

Bei der Potentialfeldmessung wird die zu untersuchende Betonstahlbewehrung an einer Stelle im Beton freigelegt und dort mit einem elektrischen Kabel ein Spannungsmesser (Voltmeter) und eine Bezugselektrode (in der Regel eine Kupfersulfatelektrode) angeschlossen. Die Betonoberfläche wird vor der Potentialfeldmessung angefeuchtet, um einen elektrischen Kontakt zur Bezugselektrode zu schaffen. Im Rahmen des Messvorgangs wird die Bezugselektrode über die Betonoberfläche geführt. Dabei werden die elektrischen Spannungen, welche ausgehend von der Anode in den Beton hineinreichen und letztlich an der Betonoberfläche ankommen, gemessen, Bild 9. Die Messung erfolgt häufig in automatisierter Form, d.h.,

es werden automatisch messende Radelektroden mit Wegaufzeichnung über die zu messende Betonoberfläche geführt, **Bild 10**. Als Ergebnis erhält man ein zweidimensionales Potentialfeld der gemessenen Bauteiloberfläche.

Die elektrochemische Potentialfeldmessung eignet sich besonders zum effektiven Untersuchen großer Bauteilflächen auf mögliche Chloridkorrosion. Sie wird deshalb häufig bei der Instandsetzung flächiger Bauwerke wie Brücken, Tiefgaragen oder Parkhäuser angewandt.

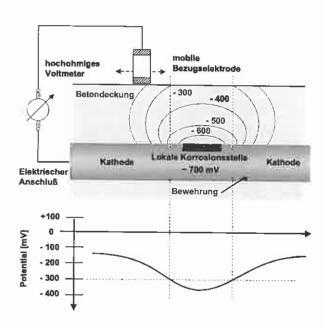


Bild 9: Prinzip der elektrochemischen Potentialfeldmessung (oben) und zugehöriges Messergebnis (unten), aus [4].

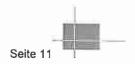




Bild 10: Durchführung einer flächigen Potentialfeldmessung mit einer Radelektrode

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass nur der aktuell ablaufende Korrosionsprozess erfasst werden kann. Die Messungen geben keine Rückschlüsse auf den Grad der Schädigung der Bewehrung oder auf früher stattgefundene Korrosion. Die Wahrscheinlichkeit, dass aktive Korrosionsprozesse in einem Bauteil ablaufen, steigt bei niedrigen gemessenen Potentialen und bei großen Potentialgradienten, d.h., wenn sich die Potentiale räumlich begrenzt sehr stark ändern. Da die gemessenen elektrochemischen Spannungen, abgesehen von der Intensität des ablaufenden Korrosionsprozesses, von einer Vielzahl von Parametern abhängen (u.a. Betondeckung, Feuchtegehalt des Betons, Sauerstoffgehalt des Betons), ist die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse außerordentlich schwierig und kann nur von einem erfahrenen Spezialisten vorgenommen werden.

Beispiel Tiefgaragenstellplatz

Im vorliegenden Fall wurde im Bereich eines Tiefgaragenstellplatzes in einem Parkdeck, bei dem der begründete Verdacht auf Makroelementkorrosion bestand, eine flächige Potentialfeldmessung durchgeführt. Das Potentialfeldbild zeigt unedle Werte, d.h. Verdacht auf aktive Korrosion in den Spuren der Fahrzeugreifen (dort wurde das meiste Wasser eingeschleppt). Die Analyse der Chloridwerte und eine stichprobenartige Freilegung der Bewehrung bestätigte diesen Verdacht. In der linken Reifenfahrspur war ein Riss in der Betondecke vorhanden, weshalb dort die niedrigsten Potentialwerte und im Rissbereich die größten Korrosionsnarben an der Bewehrung vorhanden waren, Bild 11.

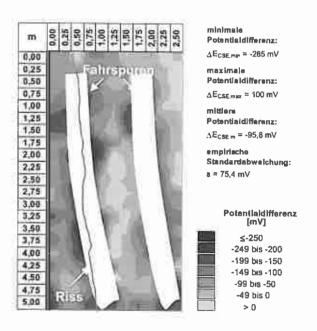
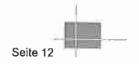


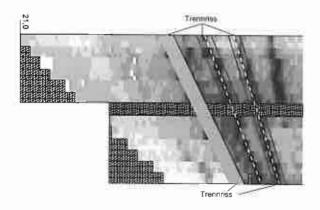
Bild 11: Ergebnis einer flächigen Potentialfeldmessung im Bereich eines Tiefgaragenstellplatzes

Beispiel Spindelrampe einer Tiefgarage

Die flächige Potentialfeldmessung an der Spindelrampe einer Tiefgarage ergab unedle Werte und
hohe Potentialgradienten im Bereich der Entwässerungstiefpunkte und insbesondere im Bereich von
durchgehenden Trennrissen. Der Verdacht auf aktive Korrosion konnte bestätigt werden, die Chtoridwerte waren sowohl in den Tiefpunktbereichen als
auch in den Trennrissen deutlich erhöht und die



Bewehrung wies Lochfraßkorrosion auf. Im vorliegenden Fall hat sich die Potentialfeldmessung als besonders effektiv erwiesen, da aufgrund der profilierten Oberflächengestaltung der Spindelrampe die Risse an der Oberfläche augenscheinlich praktisch nicht erkennbar waren, Bild 12.



(mV)	Einzelhäufigkeit [%]	Summenhäufigkei [%]
≤ -450	5,43	5,43
-449 bis -400	8,91	14,35
-399 bis -350	16,85	31,20
-349 bis -300	30,98	62,17
-299 bis -250	24,46	86,63
-249 bis -200	10,76	97,39
-199 bis -150	2,61	100,00
-149 bis -100	0,00	100,00
> -100	0,00	100,00
kein Measwert vorh	enden	

Bild 12: Ergebnis einer flächigen Potentialfeldmessung an der Spindelrampe einer Tiefgarage

6 CHLORIDENTZUG NACH DER METHODE DER ELEKTROCHEMISCHEN ENTSALZUNG

6.1 Allgemeines

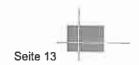
Sind in Bauteilen von Tiefgaragen Tausalze (Chloride) in einer kritischen, d.h. korrosionsauslösenden Konzentration bis zur Bewehrung vorgedrungen, so muss der belastete Beton in der Regel vollständig entfernt werden, um die Korrosion zu stoppen bzw. die Dauerhaftigkeit des Bauteils sicherzustellen. Die Entfernung des belasteten Betons erfolgt entweder mechanisch oder mit dem Höchstdruckwasserstrahlverfahren (HDWS). Beide Verfahren sind, insbesondere aufgrund der einhergehenden Lärmentwicklung, dem Schmutzwasseranfall und den Verschmutzungen, mit erheblichen Belästigungen für die Nutzer verbunden.

Eine alternative Methode der Chloridentfernung, gänzlich ohne Lärmbelästigung und mit nur äußerst geringem Schmutzanfall, stellt die Methode der elektrochemischen Entsalzung (ECE) dar: nicht der chloridbelastete Beton wird entfernt, sondern dem Beton wird das vorhandene Chlorid aktiv entzogen.

Voraussetzung bei der Durchführung der Methode der elektrochemischen Entsalzung ist, dass die Bewehrung noch nicht in einem Ausmaß geschädigt ist, welches die Tragfähigkeit einschränkt bzw. Bewehrungsergänzung erforderlich macht.

6.2 Grundprinzip

Die Methode der elektrochemischen Entsalzung wurde in den 70er Jahren in Amerika von Slater entwickelt [7]. Dabei wird zwischen der Bewehrung (Kathode) und einem auf der Betonoberfläche aufgebrachten Anodenmaterial über eine Gleichstromquelle ein künstliches elektrisches Feld erzeugt.



Durch das positiv geladene Anodenmaterial werden die im Beton vorhandenen negativ geladenen Ionen Cl⁻ und OH⁻ zur Anode hingezogen. Positiv geladene Ionen Na⁺, K⁺ und Ca²⁺ wandern hingegen in Richtung Kathode (Bewehrung), **Bild 13**.

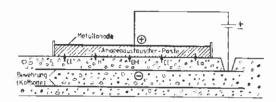


Bild 13: Elektrochemische Entfernung von Chloriden aus Beton; Bild aus [8] nach [7]

6.3 Durchführung

Auf die Betonoberfläche wird ein Anodenmaterial (meist in Gitterform) aufgebracht, welches aus unlegiertem Stahl, Edelstahl oder auch Titan bestehen kann. Da sich die Umgebung des Anodenstahls aufgrund der ablaufenden elektrochemischen Reaktionen ansäuert, muss bei einer gewünschten Wiederverwendung des Anodenmaterials Edelstahl oder Titan verwendet werden, unlegierter Stahl würde sich auflösen.

Um den lonentransport im Beton zu ermöglichen, muss zwischen dem Anodengitter und der Betonoberfläche ein elektrischer Kontakt hergestellt werden. Dies geschieht durch das Einbetten des Anodengitters in einen Elektrolyten, welcher in der Regel aus Zellulose, Dämmstoff oder auch Bentonit besteht und zur Kontaktherstellung angefeuchtet wird, Bild 14.



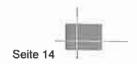
Bild 14: Durchführung einer elektrochemischen Chloridentsalzung in einer Tiefgarage. Die einzelnen Steuerungsfelder sind durch Holzrahmen voneinander getrennt. Zu erkennen ist der Elektrolytträger und das aufliegende Anodengitter

Die angelegten Spannungen betragen zwischen rd. 30 V und 40 V, bei Stromstärken von rd. 1 bis 2 A/m² Bewehrungsoberfläche. Die Stromstärke ist unbedingt nach oben zu begrenzen, da ansonsten Schäden im Beton, insbesondere Verbundstörungen zwischen Beton und Bewehrung auftreten können.

6.4 Zu beachtende Randbedingungen

Die Effektivität des Chloridentzugs bzw. die durchzuführende Regelung der Stromversorgung ist von zahlreichen Randbedingungen abhängig, u.a. sind dies:

- Inhomogenitäten des Betons
- Betondeckung (Maß und Variabilität)
- Dichtheit bzw. Porosität des Betons.
- Gehalt an Ionen
- Betonfeuchte
- Bauwerks- und Umgebungstemperatur
- Bewehrungsgehalt,



Dies macht deutlich, dass die Steuerung der Stromversorgung eine sehr komplexe Aufgabe darstellt, die einen hohen Kenntnisstand der technischen Zusammenhänge und Erfahrung voraussetzt.

Je nach den vorhandenen Inhomogenitäten des Betons sollte die Steuerung möglichst flexibel ausgelegt sein. Bei kleineren Steuerungseinheiten (Fläche des mit einem Anschluss gesteuerten Anodengitters) kann die aktuell erforderliche Spannung zur Aufrechterhaltung des gewünschten Stroms besser den Erfordernissen angepasst werden, was letztlich zu einem effektiveren Chloridentzug führt.

6.5 Baubegleitende Untersuchungen

Der Erfolg eines durchgeführten elektrochemischen Chloridentzugs muss baubegleitend kontrolliert werden. Hierzu sollten u.a. Strom-/Spannungskurven aufgezeichnet werden. Bei einem erfolgreichen Chloridentzug steigt der elektrische Widerstand des Betons an, was sich in höheren erforderlichen Spannungen für eine bestimmte Stromstärke äußert.

Vor Beginn einer elektrochemischen Entsalzung sollte vollflächig eine elektrochemische Potentialfeldmessung durchgeführt werden, die Aufschluss über die vorhandene Korrosionsaktivität gibt. Zur Beurteilung der Ergebnisse der Potentialfeldmessung ist ferner eine flächige Betondeckungsmessung durchzuführen, deren Ergebnisse später auch zur Steuerung des Stromflusses während des Chloridentzugs verwendet werden können. An kennzeichnenden Stellen müssen Chloridprofile erstellt werden. Die Chloridprofile sollten an Stellen mit einer zu erwartenden hohen Korrosionsaktivität und zur Kontrolle auch an Stellen, an denen keine Korrosionsaktivität vermutet wird, durchgeführt werden.

Der Erfolg einer elektrochemischen Entsalzung sollte abschließend über erneute Potentialfeldmessungen und Chloridgehaltsbestimmungen kontrolliert werden. Die Chloridgehalte sollten nach Abschluss der Maßnahme unter den vorab festgelegten Zielwerten liegen. Das Potentialfeld sollte deutlich edlere, d.h. in den positiven Spannungsbereich verschobene Werte aufweisen.

Je nach den Randbedingungen können während einer rd. 10-wöchigen Entsalzung bis zu 90 % des vorhandenen Chlorids entfernt werden. Ergeben die Kontrollmessungen, dass nach einer ersten Entsalzungsphase die verbleibenden Chloridgehalte noch zu hoch sind, kann eine zweite Entsalzungsphase angeschlossen werden, die jedoch in einem gewissen zeitlichen Abstand durchgeführt werden sollte, [9].

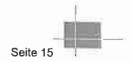
Um das erneute Eindringen von Chlorid in den Beton zu vermeiden, sollte nach erfolgreichem Abschluss der Entsalzungsmaßnahme eine Beschichtung aufgebracht werden.

7 VERHINDERUNG DER BEWEHRUNGS-KORROSION DURCH KATHODISCHEN KORROSIONSSCHUTZ

7.1 Ziel

Beim kathodischen Korrosionsschutz (KKS) wird die Korrosionsrate des Bewehrungsstahts auf ein unschädliches Maß reduziert, weshalb es sich hier nicht um ein klassisches Instandsetzungsverfahren handelt, bei dem der chloridbelastete Beton entfernt wird.

In anderen Konstruktionsbereichen, z.B. im Anlagenbau, ist der KKS seit Jahrzehnten Stand der Technik. Auch im Bauwesen hat der KKS eine lange



Tradition, wenngleich er dort noch eher ein exotisches Verfahren ist. Dies wird u.a. auch dadurch dokumentiert, dass dieses Verfahren in DIN EN 12696 [10] technisch geregelt ist und damit Sicherheit zwischen Ausschreibenden und Anbietern vermittelt. In Österreich und der Schweiz erschienen zu diesem Thema Richtlinien, [11, 12]. Weltweit sind bereits mehrere Millionen m³ Stahlbeton mit diesem Verfahren gegen Korrosion geschützt, wobei gerade in den letzten Jahren einige technisch und wirtschaftlich interessante Entwicklungen bei den Anodentypen hinzugekommen sind.

7.2 Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes

Das Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes beruht darauf, die anodische Eisenauflösung baupraktisch zu unterdrücken.

Grundsätzlich werden zwei Systeme unterschieden, die aber auf identischem Wirkprinzip basieren:

KKS mit Opferanoden

Hierzu wird auf die Bauteiloberseite des zu schützenden Bauteils, d.h. in der Nähe der zu schützenden Bewehrung, eine sogenannte Opferanode in Form z.B. einer flächig aufgespritzten oder hydrogelverklebten Zinkfolie aufgebracht, die in regelmäßigen Abständen über Kontakte elektrisch leitend mit der Bewehrung verbunden wird. Die Bewehrung wird zeitlich begrenzt kathodisch geschützt, bis die Opferanoden aufgebraucht sind.

KKS mit Inertanoden und Fremdstrom Im Gegensetz zur unedlen Onferende

Im Gegensatz zur unedlen Opferanode wird beim Einsatz von Fremdstrom eine edle Titananode verwendet, welche sich nicht aufbraucht. Diese wird auf der Betonoberfläche fixiert und durch Normalbeton, bei vertikalen Oberflächen auch mit Hilfe von Spritzbeton auf der entsprechend vorbereiteten Betonoberfläche dauerhaft in den Querschnitt eingebunden, vgl. hierzu auch Bild 15 und Bild 16. Durch das Einspeisen eines äußeren Stroms (Fremdstrom) wird die Bewehrung zur Kathode.

Vom Prinzip her vergleichbar mit der ECE wird beim KKS die zu schützende Bewehrung mit Fremdstrom beschickt, entweder gespeist von sich allmählich auflösenden Opferanoden oder durch angelegten Fremdstrom. Durch den so erzeugten Elektronenfluss wird die Bewehrung kathodisch polarisiert, so dass die anodische Teilreaktion (Eisenauflösung) nahezu unterdrückt wird, vgl. hierzu Bild 15, Fremdstromvariante.

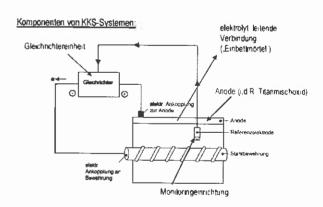
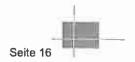


Bild 15: Kathodischer Korrosionsschutz an Betonbauteilen, Variante Fremdstrombeaufschlagung, Bild aus [9]

Im Vergleich zur ECE werden beim KKS sehr viel geringere Spannungen und Ströme verwendet (rund 10 - 100 mA/m²). Die Gefahr schädigender, chemischer Reaktionen an der Bewehrung ist infolge der



niedrigen Schutzströme und -spannungen gering, jedoch nicht gänzlich auszuschließen, insbesondere ist bei Spannstahl infolge der Gefahr von Spannungsrisskorrosion besondere Aufmerksamkeit erforderlich.

Der KKS bietet den Vorteil, dass nur in den Bereichen, in denen bereits eine fortgeschrittene Zerstörung der Bewehrung oder des Betons, z.B. Hohllagenbildung, stattgefunden hat, ein Betonabtrag erfolgen muss. Da beim kathodischen Korrosionsschutz eine dauerhafte und kontinuierliche Strombeaufschlagung stattfindet, müssen chloridbelastete Zonen nicht entfernt werden.



Bild 16: Vorbereitete Betonoberfläche mit verlegten Anodenbändern.

7.3 Durchführung

7.3.1 Auswahl der KKS-Anlage

Die Anwendung von KKS setzt voraus, dass die zu schützende Bewehrung elektrisch ausreichend leitend verbunden ist. Der elektrische Kontakt bzw. der elektrische Widerstand zwischen den Bewehrungsstählen muss in jedem Falle mit Hilfe von Widerstandsmessungen überprüft werden. Ist die Bewehrung nicht leitend miteinander verbunden, wird der Schutzstrom u.U. zum korrosiv wirkenden Streu-

strom. Bezüglich weiterer Nachweise wird auf DIN EN 12696, [10] verwiesen.

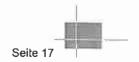
Im Vorfeld muss die Betondeckung und der Bewehrungsgehalt ortsabhängig, d.h. flächig festgestellt werden. Insbesondere müssen Bereiche mit dichter Bewehrung lokalisiert werden, um zu überprüfen, ob der Anoden-/Kathodenabstand für das potentiell in Frage kommende Anodensystem ausreichend ist, um die erforderliche Stromdichte zu gewährleisten.

Ist KKS prinzipiell anwendbar, muss das auszuwählende Schutzsystem im Allgemeinen folgende Anforderungen erfüllen:

- Abgabe eines ausreichenden, über das zu schützende Betonstahlbewehrungsnetz möglichst gleichmäßig verteilten Schutzstromes, ohne dass andere Zerstörungsmechanismen eingeleitet oder beschleunigt werden.
- Möglichst wenig zusätzliches Gewicht, möglichst geringe Änderung der Abmessung und Ästhetik der Struktur,
- Lange Lebensdauer des Gesamtsystems.
- Einfache Kontroll- und Überwachungsmöglichkeiten der Funktion und Wirksamkeit.
- Einfacher Ersatz.

Projektierungshilfen werden in DIN EN 12696:2000, Kapitel 6 [10] gegeben.

Neben den technischen Anforderungen an das Material, die Einfluss auf die Auswahl eines Systems haben, sind aber auch andere Randbedingungen u. U. von entscheidender Bedeutung. Kann z.B. zusätzliches Eigengewicht, vgl. hierzu z.B. den KKS-Aufbau gemäß Bild 15, über die bestehende Konstruktion ohne zusätzliche Verstärkung nicht sicher abgetragen werden, scheidet die Fremdstromvarian-



te praktisch aus. Auf der anderen Seite liegen gerade hier die größten baupraktischen Erfahrungen vor.
Hinzu kommt, dass die Lebensdauer einer Fremdstromanlage der zu erwartenden Lebensdauer von
Opferanoden i.d.R. weit überlegen ist. Insofern muss
hier sorgfältig abgewogen werden.

In der Zwischenzeit gibt es verschiedenste Produktvarianten, die prinzipiell zum Einsatz kommen können. Zum Teil sind die Erfahrungen, insbesondere langjährige, mit den entsprechenden Systemen jedoch noch sehr gering. Bezüglich weiterer Ausführungsvarianten wird auf die Fachliteratur verwiesen, u.a. [13].

7.3.2 Überwachung der KKS Anlage

Um die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nachzuweisen, muss ein Überwachungssystem mit entsprechender Lebensdauer eingebaut werden. Das Überwachungssystem muss Messstellen an repräsentativen Punkten im gesamten zu schützenden Anodenbereich umfassen. Über Bezugselektroden wird die aktuelle Wirksamkeit abgeschätzt. Zur Abfrage und Dokumentation der Messdaten empfehlen sich spezielle Aufzeichnungsgeräte, die dauerhaft installiert oder mobil zum jeweiligen Inspektionszeitpunkt vor Ort einzusetzen sind. Kriterien zur Überprüfung der Wirksamkeit des KKS werden in den relevanten Regelwerken, vgl. hierzu [10, 11, 12], aber auch u.a. von der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V. Hamburg [14] angegeben, ergänzende Überwachungssysteme sind u.a. in [15, 16, 17] beschrieben.

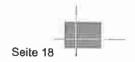
8 ERGÄNZUNG VON BETONQUERSCHNITTEN MIT TRAGENDER FUNKTION

8.1 Allgemeines

Die Reprofilierung von Stahlbetonbauteilen mit aufzubringenden dünnen Schichtdicken und unter beengten Platzverhältnissen ist manchmal schwierig. Bei der Reprofilierung von Stahlbetonbauteilen mit Korrosionsschäden werden in der Praxis deshalb häufig ungeeignete und auch nicht zugelassene Instandsetzungsmaterialien verwendet. Dies geschieht zum einen aus Unkenntnis über die technischen Eigenschaften der Materialien und zum anderen auch aus Unkenntnis über die geltende Normenund Vorschriftenlage. Nach der Instandsetzungsrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [1] (Rili-SIB 2001) Teil 2, Abschnitt 4 dürfen zur Instandsetzung von Betonquerschnitten folgende Materialien verwendet werden:

- Beton und Mörtel nach DIN 1045:2008 [18]
- Spritzbeton nach DIN 18551:2010-02 "Spritzbeton Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen 18551" [19]
- kunststoffmodifizierter Instandsetzungsbeton/
 -mörtel (PCC) mit zugehörigen Systemkomponenten
- im Spritzverfahren aufzubringender kunststoffmodifizierter Instandsetzungsbeton/-mörtel (SPCC)
- reaktionsharzgebundener Instandsetzungsbeton/
 -mörtel (PC) mit zugehörigen Systemkomponenten.

Ferner darf Vergussbeton/Vergussmörtel nach der DAfStb Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Verguss-



mörtel, Juni 2006 (Vergussbetonrichtlinie) unter bestimmten Einschränkungen verwendet werden [20].

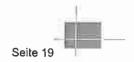
Kunststoffmodifizierte Instandsetzungsbetone bzw.
-mörtel weisen aufgrund der Kunststoffzusätze im Vergleich zu rein zementgebundenen Betonen bzw. Mörteln einen sehr geringen E-Modul und ein hohes Kriechmaß auf. Als mögliche Betonersatzsysteme für die Reprofilierung hoch belasteter Bauteile wie z.B. Stützen scheiden diese Materialien somit in der Regel aus, da sie sich aufgrund des geringen E-Moduls an der Lastübertragung nur in geringem Maße beteiligen und sich aufgrund des hohen Kriechvermögens auf Dauer der Lastaufnahme entziehen.

Als Instandsetzungsmaterialien für statisch hoch belastete Bauteile verbleiben somit noch Betone und Mörtel nach DIN 1045:2008 und Spritzbetone nach DIN 18551:2010. Bei beengten Platzverhältnissen können Spritzbetone nicht oder nur sehr eingeschränkt verwendet werden. Betone und Mörtel nach DIN 1045:2008 lassen sich bei Einbau mit geringen Schichtdicken meist nur schwer verdichten. Die Gefahr, dass Fehlstellen verbleiben, ist sehr hoch.

Aufgrund hoher Festigkeiten und aufgrund der relativ leichten Einbringmöglichkeit werden für die Querschnittsergänzung von Stützen häufig so genannte Vergussbetone/-mörtel verwendet. Dabei müssen neben den normativen Regelungen insbesondere auch die technischen Randbedingungen der jeweiligen Vergussbetone/-mörtel beachtet werden. Vergussbetone werden in der Regel als fertig konfektionierte Sackware geliefert. Auf der Baustelle wird dann nur noch Wasser zugegeben und gemischt. Vergussbetone weisen zumeist eine sehr hohe Festigkeit (häufig über 100 N/mm²), einen hohen E-Modul und insbesondere einen sehr hohen Bindemittelgehalt auf. Dieser hohe Bindemittelgehalt führt in

den allermeisten Fällen zu einem im Vergleich zu Beton sehr hohen Austrocknungsschwinden, von den Herstellern meist als Nachschwinden bezeichnet. Dieses Austrocknungsschwinden kann zu hohen Zugeigenspannungen an der Bauteiloberfläche und damit zum Entstehen von Oberflächenrissen und Ablösungen führen. Bei vergleichsweise dünnen Querschnittsergänzungen entzieht sich der ergänzte Betonquerschnitt durch das Austrocknungsschwinden nicht nur der Lastaufnahme, vielmehr wird sogar der Restquerschnitt des Bauteils zusätzlich auf Druck belastet.

Diese technischen Randbedingungen spiegeln sich auch in der Richtlinie für Schutz und Instandsetzung des DAfStb [1] bzw. der DIN 1045 [18] wider, auch wenn dies in der Praxis nur selten wahrgenommen wird. Nach Rili-SIB 2001 darf Beton nach DIN 1045 verwendet werden. Unter bestimmten Voraussetzungen ist Trockenbeton als Beton nach DIN 1045 zu betrachten. Diese Voraussetzungen waren bereits in DIN 1045:88 enthalten. Die Anwendung selbst ist in der DAfStb-Richtlinie "Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel" (Trockenbetonrichtlinie) [21], geregelt. Diese Richtlinie ist in Deutschland bauaufsichtlich eingeführt und somit einzuhalten. Nur wenn die Anforderungen dieser Richtlinie eingehalten und durch die zwingend vorgeschriebenen Überwachungsverträge von bauaufsichtlich anerkannten Prüf-, Überwachungs- bzw. Zertifizierungsstellen nachgewiesen werden, ist das Trockenmaterial einem Beton nach DIN 1045 gleichgestellt. In der Trockenbetonrichtlinie sind in Abschnitt 3.3 Anforderungen an das Austrocknungsschwinden gestellt. Das Austrocknungsschwinden von Trockenmörtel (Endschwindmaß) darf max. 0,80 ‰ als 95 %-Quantil betragen (größter Einzelwert 1,0 ‰), wobei auch ein Endschwindmaß von 0,80 ‰ weit über dem Endschwindmaß üblicher Betone liegt. Aufgrund des hohen Bindemittelgehalts



erfüllen die meisten Trockenmörtel (z.T. auch – betone) diese Anforderungen nicht und dürfen somit auch nicht für die Instandsetzung von Betonquerschnitten mit statischer Funktion verwendet werden.

Vergussbetone nach der Vergussbetonrichtlinie dürfen wie Betone nach DIN 1045 für Betonergänzungen in "dünnen Schichten" verwendet werden. In der Vergussbetonrichtlinie werden als mögliche Anwendungen z.B. das Ausfüllen von Fugen und das Einbetonieren von Stützen in Köcherfundamenten genannt. Die Schichtstärke soll dabei das 25-fache des Größtkorns nicht überschreiten. In der Fassung von Juni 2006 war die Anwendung für Instandsetzungen nach der Rili-SIB 2001 noch ausdrücklich ausgeschlossen, nach der Berichtigung vom Juni 2007 ist sie jetzt nur noch für die Instandsetzung bei "großformatigem Betonersatz" ausgeschlossen.

Die Instandsetzung bzw. Reprofilierung von Stützenund Wandfüßen, z.B. in Tiefgaragen, ist somit nun möglich. Allerdings muss Vergussbeton der Schwindklasse SKVB I entsprechen, d.h., wie beim Trockenbeton darf das Austrocknungsschwinden 0,80 ‰ nicht überschreiten.

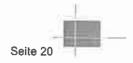
8.2 Querschnittsergänzung mit selbstverdichtendem Beton

8.2.1 Allgemeines

Zur statisch wirksamen Ergänzung von Betonquerschnitten mit geringen Schichtdicken und unter beengten Platzverhältnissen ist selbstverdichtender Beton (SVB bzw. SCC) in besonderer Weise geeignet [9]. Die Verwendung von SVB ist in der DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie, Ausgabe 11/2003, [22]) geregelt. Die SVB-Richtlinie ändert und ergänzt einzelne Abschnitte aus DIN 1045-1, DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und DIN 1045-3. Inzwischen gibt es einige Hersteller, die für ihre selbstverdichtenden Betone allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen besitzen, für deren Einsatz sind somit keine weiteren Zustimmungen von behördlicher Seite mehr notwendig.

Folgende Punkte sollten bei Querschnittsergänzungen mit SVB beachtet werden:

- Verarbeitungsdauer: Der Beton ist in angemessener Zeit zu verarbeiten, da ansonsten die Fließeigenschaften nicht mehr garantiert werden können.
- Betonoberflächen: Betonoberflächen sollten frei von losen Bestandteilen bzw. Staubresten der mechanischen Bearbeitung sein. Kurz vor der Befüllung sollte die Oberfläche genässt werden.
- Befüllung: Die Befüllung sollte über Rinnen von rd. 2 m bis 3 m Länge erfolgen, damit der SVB auf der Fließstrecke gut entlüften kann. Die Befüllungsgeschwindigkeit darf nicht zu hoch sein.
- Fallhöhe: Die Fallhöhe sollte 1 m nicht überschreiten. Für instand zu setzende Bereiche größer als 1 m muss der Beton abschnittsweise eingebracht werden.
- Verpressschlauch: Um Hohlräume bzw. Lufteinschlüsse an oben liegenden, horizontalen Grenzflächen zwischen altem und neuem Beton zu vermeiden, empfiehlt sich das Anbringen von Verpressschläuchen. Als Verpressmaterial ist Zementsuspension oder Einpressmörtel geeignet.
- Überwachung: Die Arbeiten mit SVB sollten durch sachverständiges Personal überwacht werden.



8.2.2 Anwendungsbeispiele

8.2.2.1 Stahlbetonunterzug mit Frostabplatzungen

Bei einem Bauprojekt wurden Unterzüge mit Dornen, welche in Hüllrohre hineinreichen, auf Stahlbetonstützen befestigt. Der Verguss der Hüllrohre von der Oberseite aus erfolgte nicht vollständig, so dass witterungsbedingt wassergefüllte Bereiche verblieben. In der ersten größeren Frostperiode führte der Gefrierdruck des Wassers dazu, dass die Betonbereiche seitlich der Hüllrohre abgesprengt wurden. vgl. hierzu Bild 17. Da die Stahlbetonunterzüge in einer sehr hohen Sichtbetonqualität hergestellt waren, musste die Betonergänzung nicht nur die Tragsicherheit und die Dauerhaftigkeit wieder herstellen, vielmehr musste auch eine sehr hohe optische Qualität der Instandsetzung erzielt werden. Da eine gleichmäßige und weitestgehend lunkerfreie Betonoberfläche erzielt werden musste, die Betonabplatzungen großflächig aber nicht tiefgehend waren. entschied man sich, die Betonergänzung mit SVB herzustellen.

Nach Vorgaben des Tragwerksplaners war der Instandsetzungsbeton in der gleichen Festigkeitsklasse (B55) und mit einer vergleichbaren Steifigkeit (E-Modul) auszuführen. Die erforderliche Größe der Instandsetzungsbereiche wurde durch Rissdetektion und Abklopfen ermittelt.

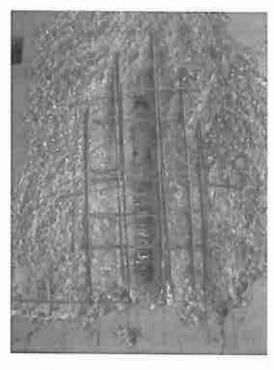
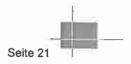


Bild 17: Stahlbetonunterzug nach Entfernung des hohlliegenden Betons mit freiliegendem Hüllrohr

Die instand zu setzenden Bereiche wurden durch schräg nach außen (vom instand zu setzenden Bereich weg) verlaufende Trennschnitte begrenzt. Die Mindestabtragstiefe wurde zu 5 cm festgelegt, um an jeder Stelle ein ordnungsgemäßes Einlaufen des selbstverdichtenden Betons zu gewährleisten. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Verbunds zwischen Alt- und Neubeton wurde mindestens jeder zweite Vertikalbewehrungsstahl mindestens 2 cm tief freigelegt. Vor der Betonage wurden die freigelegten Hüllrohre über die gesamte Höhe aufgeschnitten, um das Herauslaufen des SVB zu gewährleisten.

Die Schalung wurde dicht an die Stahlbetonunterzüge angeschlossen, um ein Herauslaufen von Beton oder Zementleim zu vermeiden. Aufgrund des hohen Frischbetondrucks, welcher bei SVB entsteht, wurde auf eine gute Schalungsverankerung geachtet.



Bei der Betonage wurde der Beton zuerst durch ein Entlanglaufen über rd. 2 m lange Rinnen entlüftet, bevor er von oben durch die Hüllrohröffnungen eingebracht wurde. Die Betonage selbst verlief ohne größere Schwierigkeiten.

Die nachfolgende Kontrolluntersuchung ergab, dass die Fehlstellen hohlstellenfrei verfüllt werden konnten. Die Oberfläche der Instandsetzungsstellen war lunkerfrei und wies eine gleichmäßige Farbe auf, die nach wenigen Tagen Abtrocknung der Altbetonfarbe sehr nahe kam, vgl. hierzu Bild 18.



Bild 18: Instand gesetzter Stahlbetonunterzug

8.2.2.2 Reprofilierung von Stahlbetonstützen

Bei Stahlbetonstützen im Bereich einer Gebäudetrennfuge ist die Dehnfugeneinlage beim Betonieren verrutscht.

Als Folge war bei der einen Stütze der Betonteilquerschnitt reduziert, bei der anderen Stütze vergrößert, vgl. hierzu **Bild 19**. Bei dem reduzierten Betonteilquerschnitt betrug die Betondeckung bereichsweise nur wenige mm, bereichsweise lag die Bewehrung sogar frei.



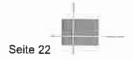
Bild 19: Fehlstelle infolge verrutschter Fugeneinlage

Zur Erzielung einer ausreichenden Einbindung der Bewehrung wurde von jeder Stütze mit HDW soviel Altbeton entfernt, dass ein mindestens 10 cm breiter Querschnitt mit SVB vergossen werden konnte.



Bild 20: Einbringen des SVB. Die lange Fließstrecke auf der Schüttrinne garantiert das einwandfreie Entlüften des SVB

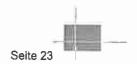
Da der zu ergänzende Stützenquerschnitt über 1 m hoch war, wurde der SVB über zwei übereinander liegende Einfüllöffnungen eingebracht, **Bild 20**. Die abschließende Kontrolle der ergänzten Querschnittsbereiche ergab keine Hinweise auf Fehlstellen bzw. Hohllagen.



9 LITERATUR

- Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen" des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Oktober 2001.
- [2] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP): Merkblatt B3 Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion in Stahlbetonbauwerken, April 2008.
- [3] Elsener, B.; Böhni, H.: Lokalisierung von Korrosion im Stahlbeton. Schweizer Ingenieur und Architekt, 19/87.
- [4] Sodeikat, Ch.; Gehlen, Ch.; Schießl, P.: Auffinden von Bewehrungskorrosion mit Hilfe der Potentialfeldmessung Schilderung eines ungewöhnlichen Praxisfalles. Beton- und Stahlbetonbau 97, Heft 9, S. 437 444, Ernst & Sohn, Berlin 2002.
- [5] Sodeikat, Ch.: Auffinden von Bewehrungskorrosion mit Hilfe der Potentialfeldmessung. 1. Kolloquium Verkehrsbauten. Technische Akademie Esslingen, Januar 2004. Tagungsband S. 637 - 648.
- [6] Sodeikat, Ch.: Erläuterungen zum Merkblatt B3 Potentialmessungen. Beton- und Stahlbetonbau 105, Heft 8, S. 529 – 538, Ernst & Sohn, Berlin 2010.
- [7] Slater, J.E.; Lankart, D.R.; Moreland, P.L.: Electrochemical Removal of Chlorides from Concrete Bridge Decks. Materials Performance, 11.
- [8] Kunze, E.: Korrosion und Korrosionsschutz. Band 5: Korrosion und Korrosionsschutz in verschiedenen Gebieten, Teil 2, Kap. 3.5.2: Elektrochemischer Chloridentzug. WILEY-VCH Verlag GmbH, 2001
- [9] Gehlen, Ch.; Sodeikat, Ch.: Sonderheft Betonund Stahlbetonbau, Ernst & Sohn Verlag, Juli 2005.

- [10] DIN EN 12696:2000: Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton, Juni 2000.
- [11] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: Richtlinie Kathodischer Korrosionsschutz von Stahlbetonbauteilen. Ausgabe Dezember 2003.
- [12] Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz: Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken. C7d Ausgabe 1991.
- [13] Sodeikat, C.; Mayer, T.; Vestner, S.: Kathodischer Korrosionsschutz für Spezialanwendungen. 7. Symposium Kathodischer Korrosionsschutz von Stahlbetonbauwerken. Technische Akademie Esslingen, November 2009.
- [14] Hafenbautechnische Gesellschaft e.V. Hamburg: Kathodischer Korrosionsschutz für Stahlbeton. 1. Auflage 1994. Verlag: Anker-Druck Bremen.
- [15] Santa, U.; Bergmeister, K. und Strauss, A.: Bauwerksüberwachung der Autobahnbrücke Gossensaß. Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), Heft 12, S. 975-984.
- [16] Schießl, P.; Raupach, M.: Korrosionsgefahr von Stahlbetonbauwerken, Überwachung der Korrosion mit Einbausensoren. Beton 3/94, S. 146-149.
- [17] Schiegg, Y. und Böhni, H.: Online Monitoring der Korrosion an Stahlbetonbauwerken. Betonund Stahlbetonbau 95 (2000), Heft 2, S. 92-103.
- [18] DIN 1045:2008.
- [19] DIN 18551:2010-02 "Spritzbeton Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen 18551"



- [20] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): DAfStb-Richtlinie - Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel (Vergussbetonrichtlinie). Herausgeber: DAfStb im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Juni 2006.
- [21] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): DAfStb-Richtlinie für die Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel (Trockenbetonrichtlinie). Herausgeber: DAfStb im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2000.
- [22] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie), Herausgeber: DAfStb im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2000.