

## Die Herkunft von Chloriden im Stahlbeton

Helmut Bernhardt

Wenn sich nach einem Schadenfeuer herausstellt, daß in Stahlbeton- oder Spannbeton-Bauteilen erhöhte Chloridkonzentrationen vorliegen, so wird das meistens ausschließlich auf die Tatsache zurückgeführt, daß am Brand beteiligte chlorierte Kunststoffe bei Wärmeeinwirkung (ab 120 °C) Chlorwasserstoff abspalten und dieser entweder direkt aus der Gasphase mit dem Calciumhydroxid des Betons reagiert oder indirekt über das Auskondensieren zusammen mit Feuchtigkeit auf kälteren Bauteiloberflächen und anschließende Neutralisation durch Calciumhydroxid als nichtflüchtiges Salz in das Bauteil gelangt.

Bei solchen Schadenfällen können folgende allgemeine Feststellungen immer wieder bestätigt werden:

1. Die Hauptchloridmenge liegt im Rauchgasniederschlag auf der Oberfläche des Bauteils, auf und in einer eventuell vorhandenen Binderfarbschicht und in der äußeren Betonschicht (0–5 mm) vor.
2. Bei der Probennahme von 5 mm starken Betonschichten zeigt die zweite Schicht meistens schon gar keine Chloride oder nur eine leicht erhöhte Chloridkonzentration (die in vielen Fällen auch durch Verschleppung bei der Probennahme vorgetäuscht wird).
3. Größere Eindringtiefen (bis 20 mm) sind nur dort zu beobachten, wo nach dem Brand große Wassermengen

(Löschwasser, Regenwasser) auf das Bauteil eingewirkt und die Chloride eingespült haben. Die Menge des verbrannten PVC's hat auf die Eindringtiefe der Chloride in das Bauteil wenig Einfluß.

4. Die Chloride liegen in wasserlöslicher Form vor. Sie lassen sich für die analytische Bestimmung durch wäßrige Extraktionen aus dem Beton isolieren und sie können durch sorgfältig durchgeführte Sanierungsmethoden aus dem Bauteil entfernt werden.

Nur in seltenen Fällen liegen andere Erscheinungsformen von Chloridbelastungen vor.

Leichtbetone stellen aufgrund ihrer Porosität in mehrfacher Hinsicht eine Sonderform dar. So kann trotz des oft hohen Bindemittelanteils die Karbonatisierung und damit die Neutralisierung des Alkalitätspuffers schnell fortschreiten. Ein dauerhafter Korrosionsschutz besteht von daher an den ohnehin nur unzulänglich dicht ummantelten Stahleinlagen nicht. Außerdem dringen Chloride von außen her wesentlich leichter ein, Feuchtigkeit wird förmlich aufgesaugt.

Eine am Leichtbeton in der Praxis bewährte Sanierungsmethode im Sinne einer Extraktion kann ebenfalls nicht allgemein angegeben werden. Der vorstehenden Problematik wirkt ein den Bewehrungsstählen direkt aufgetragener Korrosionsschutz entgegen, wie er z. B. durch DIN 4223, „Bewehrte Dach- und Deckenplatten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton“ vorgeschrieben wird. Spachtelschichten

und Anstriche behindern ein Eindringen von Chloriden. Relativ häufig treten gleichmäßig verteilte Chloridkonzentrationen auf, die durch sogenannte Nullproben oder tiefe Bohrungen leicht als vom Brandgeschehen unabhängig nachzuweisen sind. In solchen Fällen ist von einem herstellungsbedingten Grundgehalt auszugehen, der z. B. 0,01–0,02% Chlorid bezogen auf Betonmasse betragen kann. Aufgrund des erwähnten Korrosionsschutzes bestehen, wenn keine sonstigen Risikofaktoren wie z. B. Durchfeuchtung auftreten, hierbei und noch darüber hinaus kaum konkrete Korrosionsgefahren.

Eine andere bei Leichtbetonen schon gelegentlich beobachtete Form von Konzentrationsprofilen weist ein übliches Maximum der Konzentration an der Oberfläche des Bauteils auf. Daneben existiert aber im Bereich bis 30 mm Bohrtiefe ein weiteres verflachtes Maximum. In solchen Fällen stellte es sich heraus, daß schon früher einmal ein Brand stattgefunden und man versucht hatte, den Leichtbeton mit einer aus heutiger Sicht ungeeigneten Methode zu sanieren. Ein Beispielfall und Untersuchungen zu diesem Problem sind in „schadenprisma“ 3/1982, S. 33 und 2/1983, S. 26 beschrieben.

In zwei Fällen konnte auch bei Spannbetonträgern eine nach dem Korrosionsschutz erlaß unzulässig hohe Chloridkonzentration über die gesamte Bohrtiefe (bei Kontrollbohrungen bis zu 40 mm) festgestellt werden.

In einem Fall wurden nach einem Brand Spannbetonbalken aus den frühen 50er

H. Bernhardt, Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung (IfS), Kiel

Jahren untersucht, bei denen die Chloride im 2- bis 5fachen Überschuß gegenüber der maximal zulässigen Konzentration von 0,2 % Chlorid pro Zementanteil wahrscheinlich durch Calciumchlorid als Abbindebeschleuniger eingebracht wurden. Diese Hypothese wird gestützt durch den über Differential Scanning Calorimetry geführten Nachweis, daß als Bindemittel ein Gemisch aus Portlandzement und dem schnell abbindenden Tonerdeschmelzzement benutzt wurde. Diese Mischung weist ebenfalls darauf hin, daß kurze Abbindezeiten erreicht werden sollten.

Die Chloridkonzentrationsprofile wiesen in der Oberflächenschicht noch relativ niedrige Konzentrationen und im Inneren im Rahmen der Probennahmegerauigkeit einheitliche, hohe Konzentrationen an Chlorid auf. Unterschiede in den Konzentrationsprofilen zwischen Rauchgas-einzugsbereich und Stellen, die weit vom Brandherd entfernt lagen, waren nicht erkennbar. Der Anteil der brandbedingten Chloride war unbedeutend.

In einem weiteren Fall handelt es sich um eine 1980 in Spannbeton-Skelettbauweise erstellte Halle, in der PVC verarbeitet wurde. Vor Beginn der Probennahme war das Problem offenbar, daß hier als Quelle für eventuell vorliegende Chloride im Spannbeton sowohl die stattgefundenen Verpuffung von PVC-Staub als auch die ständige Produktion in Frage kommen. Entsprechend wurden nicht nur im leicht rußgeschwärzten Bereich, sondern gleichmäßig über die ganze Halle verteilt, Bohrproben entnommen.

Allen Probennahmestellen gemeinsam war eine gleichmäßig über die gesamte Bohrtiefe verteilte erhöhte Chloridkonzentration, die nur bei einer Probe im direkten Rauchgas-beaufschlagten Bereich in der Oberflächenschicht einen deutlich höheren Chloridgehalt auswies als im Inneren. Diese Konzentrationsprofile ließen sich weder durch besonders schnelles Eindringen der bei der Verpuffung entstandenen Chloride noch durch eine Chloridbelastung der Balken aufgrund von bei der Produktion freigesetztem Chlorwasserstoff erklären. In beiden Fällen wäre ein normales, eventuell verflachtes Konzentrationsprofil mit einem Maximum an der Betonoberfläche und nach innen abfallenden Konzentrationen festgestellt worden.

Aus dem geschätzten Herstellungsdatum der Bauteile (Herstellung kurz vor dem Bau der Halle, also 1979 oder 1980) war keine große Wahrscheinlichkeit für das gezielte Einbringen von Calciumchlorid als Abbindebeschleuniger bei der Betonherstellung herzuleiten. Zur Überprüfung und Absicherung der Hypothese, daß hier herstellungsbedingte Chloride im Beton

vorliegen, wurden an einer Probenahmestelle weitere 4 Bohrschichten (20–40 mm Bohrtiefe) entnommen. Die darin gemessenen Chloridkonzentrationen zeigten die gleiche Größenordnung wie die im Bereich 5–20 mm enthaltenen Konzentrationen.

Chloride, die schon bei der Herstellung des Bauteils in den Beton gelangen, werden bedeutend umfangreicher durch Tricalciumaluminat zu Friedell'schem Salz abgebunden als Chloride, die nachträglich in den abgebundenen Beton eingebracht werden. Es wurde deshalb an einigen Stichproben zusätzlich der Anteil an wasserlöslichen Chloriden gemessen und mit den Werten der Messungen der Gesamtchloride verglichen. In den Schichten 5–20 mm Bohrtiefe betrug der Anteil der löslichen Chloride etwa ein Viertel bis ein Drittel der Gesamtchloride. In der Schicht 0–5 mm waren die Werte von wasserlöslichen und unlöslichen Chloriden im Rahmen der Meßgenauigkeit gleich.

Neben den brandbedingten und den seit der Betonherstellung anwesenden Chloriden gibt es noch ein weiteres Spektrum von Chloridquellen, die mit der Nutzung des Gebäudes zusammenhängen.

Neben der vorerwähnten Verarbeitung von PVC, worunter alle Arten von thermischer Belastung wie Extrusion, Verschweißen, Zusammenschmelzen von Abfällen usw. gehören, gibt es noch andere Arbeiten und Verfahren, die in größeren Mengen Chlorwasserstoff oder Chloride freisetzen.

So wurde in einer Dachdeckerfirma, die gleichzeitig Baumaterialhandel trieb und deshalb ein großes Lager unterhielt, nach einem Brand im Lager in einem vom Brand abgeschlossenen Werkstattraum in der Stahlbetondecke über einem Arbeitstisch innerhalb eines begrenzten Bereichs stark erhöhte Chloridkonzentrationen festgestellt, während in der Lagerhalle nur mäßige Konzentrationen vorlagen. Es stellte sich heraus, daß auf diesem Tisch Lötarbeiten durchgeführt wurden, bei denen Ammoniumchlorid als Flußmittel benutzt wurde. Ammoniumchlorid zersetzt sich bei höheren Temperaturen zu Ammoniak und Chlorwasserstoff:



Der entstehende Chlorwasserstoff entfernt oxidierte Schichten von den Metalloberflächen und gewährleistet dadurch einen guten Kontakt zwischen Metall und Lot. Beim Abkühlen der  $\text{NH}_3/\text{HCl}$ -Dämpfe bilden sich aus Chlorwasserstoff und Ammoniak wieder Ammoniumchlorid-Nebel, die sich auf Oberflächen niederschlagen. Eine solche Fläche war unter anderem die Betondecke über dem Tisch.

Eine noch offensichtlichere Chloridquelle ist die Verwendung von Salzsäure oder ihren Salzen im Betrieb oder aber die Herstellung bzw. Aufbereitung von Chloridsalzen oder deren Lösungen.

Solche Beaufschlagungen zeigen ein prinzipiell ähnliches Chloridkonzentrationsprofil wie brandbedingte Chloride. Allenfalls ist der Abfall der Konzentration vom Maximum in der Oberfläche in das Betoninnere weniger steil, weil durch die Dauereinwirkung über Jahre hinweg ein Eindringen der Chloride in größere Tiefen (ca. 20 mm) denkbar ist. Außerdem ist je nach Tricalciumaluminat-Anteil im Zementstein die Bindung von größeren Chloridanteilen als Friedell'sches Salz möglich, was zu größeren Unterschieden zwischen wasserlöslichen und Gesamtchloriden führen kann.

Diese Ursachen lassen sich aber gegenüber brandbedingten Chloriden nur durch die räumliche Verteilung der Chloridkonzentrationen in der Halle und nicht aus dem Konzentrationsprofil an einer Stelle belegen. Wenn aus dieser räumlichen Verteilung eindeutig eine stärker beaufschlagte Stelle bei einer betriebsbedingten Chloridquelle zu erkennen und nicht mit der Lage eines Brandherdes oder den Ausbreitungswegen der Rauchgase in Einklang zu bringen ist, dann liegen Chloride vor, die nicht aus der thermischen Zersetzung chloridhaltiger Materialien im Schadenfeuer stammen.

Neben der Frage, ob in solchen Fällen der Feuerversicherer oder die Firma selbst die Kosten für die Entfernung der Chloride aus dem Beton zu übernehmen hat, besteht hauptsächlich das Problem, ob diese Chloride überhaupt noch entfernt werden können. Solche Chloride sind meistens über mehrere Jahre hinweg vom Beton aufgenommen und zum großen Teil inzwischen gebunden worden, so daß eine Sanierung gar nicht oder nur teilweise wirken kann. Nach dem Entfernen der löslichen Chloride können durch zusätzliche Arbeitsgänge keine weiteren Chloride mehr entfernt werden. Die entstehenden Sanierungskosten werden sehr hoch und die Sanierung bleibt erfolglos und ist wegen der wasserunlöslichen und deshalb korrosionsinaktiven Chloride auch nicht nötig. Meistens kann die Halle während der Sanierungsarbeiten nicht genutzt werden. Diese Betriebsunterbrechungszeiten erhöhen die Kosten dann zusätzlich.

Die Entwicklung eines Sanierungsplans sollte sich also nicht nur auf die Ergebnisse der Chloridbestimmung weniger Proben mit geringer Bohrtiefe stützen, weil dann Informationen, die aus dem Chloridkonzentrationsprofil oder der räumlichen Verteilung der Chloridbeaufschlagung im Gebäude hervorgehen, übersehen werden können.