

Kapitel 1

Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise

1.1 Hintergrund / Motivation

Betonaußenbauteile erfahren alljährlich Frostbeanspruchungen die mit Frostscha den resultieren können, welche wiederum die Funktion des Bauteiles sowie deren Standsicherheit beeinträchtigen. Die Frostbeanspruchung, mit/ohne Tausalzbelastung, ist ein dynamischer Prozess, der zugleich ein Transportmechanismus, sowie ein Schadensmechanismus ist. Bedingt durch die Mikroeislin senpumpe (siehe Kapitel 2) wird während eines Frost-Tau-Wechsels externes Wasser eingesaugt; das Betonporengefüge wird gesättigt. Erst nachdem dadurch ein kritischer Sättigungsgrad überschritten worden ist, kann ein Schaden durch die Eisexpansion entstehen. Der kritische Sättigungsgrad ist dadurch gekennzeichnet, dass kein ausreichender Ausweichraum im Betongefüge vorhanden ist, um die Eisdehnung aufzufangen [Fag73]; es bauen sich während des Gefrierens innere Spannungen auf, welche wiederum zu Mikrorissbildung führen. Als Folge treten an Betonbauwerken innere und/oder äußere Schäden auf. Die innere Schädigung ist durch Gefügezerstörung infolge von Mikrorissen gekennzeichnet, welche die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Betonbauwerkes und damit dessen Tragsicherheit beeinflussen. Die äußere Schädigung zeichnet sich durch das Abwittern der Oberfläche – Absanden oder Abschalen des Feinmörtels oder kraterförmige Absparungen über größere Zuschlagskörner aus. Anfangs stellt sie lediglich einen ästhetischen Mangel dar. Anschließend kann aber die oberflächliche Zerstörung zu Einschränkung und Verlust der Funktion des Bauteiles führen, wenngleich die Standsicherheit weiterhin gewährleistet ist (z.B. im Falle von Flughafen-Rollbahnen). Beide Schadensarten hängen, wie bereits berichtet, mit dem kritischen Sättigungsgrad und der Eisexpansion zusammen, dennoch sind sie getrennt zu betrachten, da sie nicht streng korreliert erscheinen. Hinzu kommt, dass gelöste Stoffe die äußere

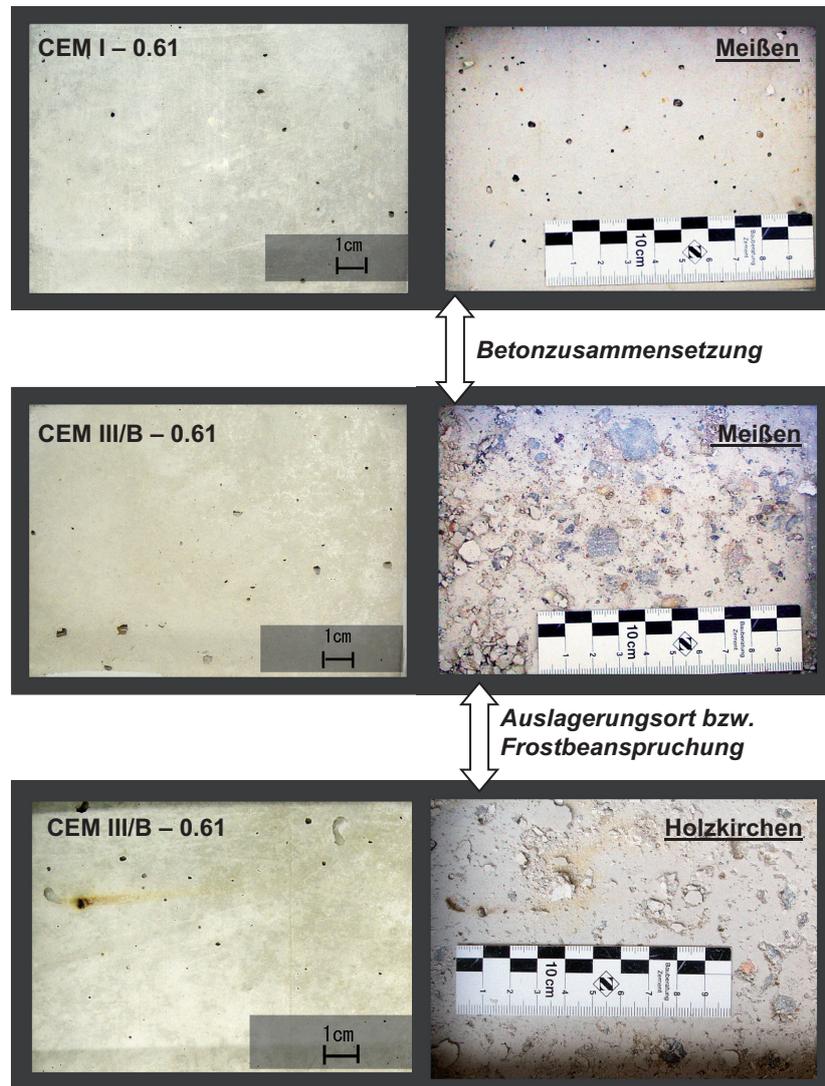


Abbildung 1.1: Äußere Schädigung von Praxisproben nach einem Winter (Winter 05/06) Auslagerung in Meißen und Holzkirchen; links – vor der Auslagerung, Daten aus [Set08].

Schädigung verstärken. Derzeit wird dieser Effekt als maßgeblich beim Frost-Taumittel-Angriff erachtet. In zahlreichen Veröffentlichungen wie z.B. in [LS97] [SKP⁺07] wird die Auswirkung von verschiedenen Taumitteln sowie Taumittelkonzentrationen auf die äußere Schädigung diskutiert. Hauptsächlich wird der Effekt von Konzentrationen über 1 M.-% untersucht. Dagegen ist die Auswirkung von geringen Mengen gelöster Stoffe – wie sie in natürlichen Wässern wie z.B. Niederschlag u.Ä. vorkommen – auf die äußere Schädigung bisher kaum untersucht worden. Untersuchungen im Rahmen des Ringversuches der CEN-Arbeitsgruppe TC 51/WG12 Anfang der 1990-er Jahre gaben erste Hinweise über die Auswirkung sehr geringer Konzentrationen

gelöster Stoffe auf die Abwitterung beim reinen Frostangriff. Die untypische Streuung der Abwitterungsergebnisse im Ringversuch wurde als Anlass genommen, um Untersuchungen mit verschiedenen Leitungswasserqualitäten als Prüflösungen im CF-Test¹ [SJF96] durchzuführen. Diese ergaben im Vergleich zu demineralisiertem Wasser erhöhte Abwitterungsmengen mit steigendem Härtegrad des Wassers [SAL94], siehe dazu Kapitel 3. Da selbst die unterschiedlichen Trinkwasserqualitäten zu signifikanten Unterschieden geführt haben, und da diese Unterschiede nicht eindeutig zuordenbar waren, wird vom RILEM TC 176 IDC für die Recommendation der Frostprüfung CIF-Test² vereinbart, dass demineralisiertes Wasser als Prüflösung verwendet wird; denn es ist an jedem Standort in gleicher Qualität verfügbar [Set09a]. Die reproduzierbare Beurteilung der inneren Schädigung und auch der Oberflächenschädigung (Abwitterung) mittels CIF-Test wird dadurch gewährleistet. Dass demineralisiertes Wasser zugleich die Gesamtabwitterung reduziert, wurde hingenommen; die innere Schädigung wurde bei reinem Frostangriff als der wesentliche Schaden betrachtet.

In Rahmen eigener Feldversuche im Sonderforschungsbereich (SFB) 398/Teilprojekt A11: „Lebensdauerbetrachtung von Beton unter speziellen Umwelteinflüssen wie Frost- und Frost-Tausalz-Beanspruchung“ [BS07] [Set08] konnte an ausgelagerten Betonproben festgestellt werden, dass unter den gegebenen Praxisbedingungen – eingestuft als reiner Frostangriff – eine Unterscheidung der Betonqualitäten anhand der Abwitterung nach nur einem Winter Auslagerung möglich ist, siehe Abbildung 1.1. Die Reihenfolge der Betone mit unterschiedlicher Qualität war an zwei Auslagerungsorten – Meißen in Ostdeutschland und Holzkirchen in Süddeutschland – äquivalent. Weitere Details sind [BS07] [Set08] [BS09] sowie Kapitel 4 zu entnehmen. Gleichzeitig stimmte der Schädigungstrend, in Abhängigkeit der Betonqualität, auch mit Laborergebnissen im CIF-Test überein, siehe Abbildung 1.2. Hinzugefügt sei, dass alle Betone das Abnahmekriterium für die Abwitterung, welches im Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ [BAW04] der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) vorgegeben wird, im CIF-Test erfüllen: Abwitterung $< 1000 \text{ g/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln (FTW).

Ausgangspunkt für die folgende Arbeit waren folgende Erkenntnisse:

- Bereits geringe Mengen an gelösten Salzen, wie sie im Leitungswasser, Niederschlag u.ä. Oberflächenwasser vorkommen, verstärken die Abwitterung signifikant, obwohl sie sonst meist vernachlässigt werden.
- Die ausgelagerten Proben unterscheiden sich in der Oberflächenschädigung – Abwitterung und lassen klare Qualitätsunterschiede erkennen.

¹Capillary suction and Freeze-thaw test

²Capillary suction, Internal damage and Freeze-thaw test

- Die Praxisergebnisse zeigen, dass die Oberflächenabwitterung auch beim reinen Frostangriff ein wichtiger Schadensmechanismus ist.
- Weder der Einfluss unterschiedlicher Salzkonzentrationen noch der verschiedener Ionen ist hinreichend analysiert worden.

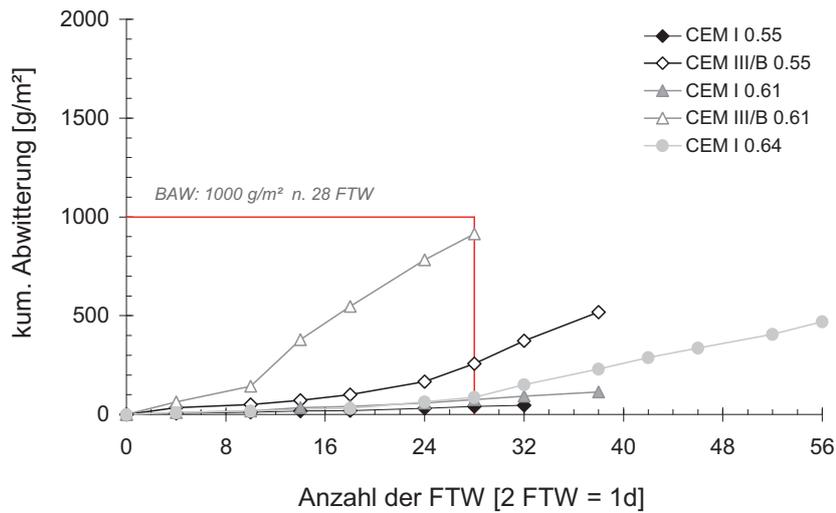


Abbildung 1.2: Abwitterung von Laborproben ermittelt im CIF-Test; unveröffentlichte Daten aus SFB 398/Teilprojekt A11, siehe [Set08].

1.2 Zielsetzung dieser Arbeit

Der Kern dieser Arbeit besteht darin die Auswirkung von sonst vernachlässigbaren Mengen gelöster Stoffe auf die Betonschädigung infolge der reinen Frostbeanspruchung zu untersuchen. Dazu soll der CIF-Test modifiziert und dem demineralisierten Wasser auf definierte Weise Salze in geringer Konzentration zugesetzt werden. Wichtig ist an dieser Stelle anzumerken, dass gerade mit der Entwicklung des CIF-Tests ein Werkzeug geschaffen wurde, welches es überhaupt erst ermöglicht, die einzelnen Rand- sowie Materialeinflüsse auf den Betonfrostwiderstand „zu filtrieren“ und präzise zu analysieren. Die sehr hohe Präzision und Trennschärfe des Prüfverfahrens ist sowohl für die Abwitterung wie für die innere Schädigung in [Set05] [Aub99] nachgewiesen. Es wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Äquivalentkonzentration sowie die Zusammensetzung der Prüflösung im CIF-Test die Abwitterung beeinflussen. Ferner ist es erstrebenswert, die Bedeutung dieses Einflusses für den realen Schaden abzuschätzen. Die grundlegende wissenschaftliche Analyse soll mit dem praktischen Ansatz verbunden werden. Durch phänomenologische Versuche am Beton soll eine vergleichende Aussage zur Auswirkung verschiedener Prüflösungen bei unterschiedlichen Betonqualitäten auf die Frostschädigung getroffen werden. An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die grundlegenden Mechanismen der Oberflächenphysik im Nanobereich der Gelpartikel (disjoining pressure), die dafür verantwortlich sind, nicht Fokus dieser Arbeit sind. Sie erfordern eine genaue Analyse der oberflächenphysikalischen und -chemischen Vorgänge [Set09a].

Aus den vorangegangenen Überlegungen ergibt sich folgende Zielsetzung dieser Arbeit:

Wissenschaftliche Zielsetzung:

- Welche Auswirkungen haben sehr niedrig konzentrierte (Salz-)Lösungen auf das Abwitterungsverhalten sowie die innere Gefügezerstörung von Normalbetonen?
- Wie lässt sich die geringe Konzentration definieren?
- Wie verändert die Lösungszusammensetzung die Abwitterung?
- Wie nimmt damit die Abwitterung mit der Konzentration zu?

Praktische Zielsetzung:

- Können aufgrund der Ergebnisse Vorgaben erarbeitet werden, mit denen eine Prüflösung im CIF-Test definiert werden kann, die eine eindeutige Beurteilung des reinen Frostwiderstandes anhand der Abwitterung ermöglichen? Im Vordergrund steht die Anforderung, dass Praxisergebnisse adäquat unter Zeitraffereffekt im Labor mittels CIF-Test wiedergegeben werden.