

Ursachen und Vermeidung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden

Witterungswiderstand von Betonen; Teil 2

Karl-Uwe Voß, Neuwied

Betone für Außenbauteile müssen einen ausreichenden Witterungswiderstand (Frost- und ggf. auch Frost-Tausalz-Widerstand) aufweisen. Frost- und Frost-Tausalz-Schäden werden in erster Linie dadurch verursacht, dass sich Wasser beim Gefrieren um rd. 9 % ausdehnt und somit einen erheblichen Druck auf die Porenwände des Betons ausübt. Bei der Einwirkung von Tausalz kommen weitere Schadensmechanismen hinzu, die sich deutlich verstärkend auf die Schadensintensität auswirken und in erster Linie mit der Gefrierpunktniedrigung des Wassers bei Vorhandensein von Tausalzen und dem Kristallisationsdruck beim Auskristallisieren der Tausalze in Verbindung stehen. Auf die Schadensintensität wirken sich u.a. folgende Einflüsse in erheblichem Umfang aus: Anzahl der Frostwechsel, Geschwindigkeit der Temperaturveränderung, eingesetztes Taumittel, Größenordnung der Wassersättigung (mäßig oder stark) des Betons. Der Beitrag beschäftigt sich mit den Ursachen für Frost- und Frost-Tausalz-Schäden, mit den Schadenstypen und mit den Möglichkeiten zur Verbesserung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen.

3 Weitergehende Schadensursachen

Für die Entstehung von Frost-Tausalz-Schäden in Bauwerken sind häufig folgende Fehler ursächlich:

- falsche Betonbestellung,
- Fehler bei der Nachbehandlung,
- erhöhte w/z-Werte in der Betonoberfläche.

3.1 Falsche Betonbestellung

Erstaunlicherweise zeigt sich bei der Auswertung entsprechender Schäden immer wieder, dass trotz klarer Vorgaben in den technischen Regelwerken falsche Betonsorten bestellt und eingebaut werden. Dieser Fehler wird im Regelfall teuer bezahlt, da kostspielige Instandsetzungsmaßnahmen die Folge sind.

Bei dem in Bild 17 abgebildeten Schadensfall wurde ein Beton der Festigkeitsklasse C45/55 für die Expositionsklassen XC4, XD3, XF2 bestellt und geliefert. Eine konkretere Ausschreibung der im beschriebenen Fall des Freidecks eines Parkhauses erforderlichen Expositionsklasse (XF4) erfolgte trotz des notwendigen Frost-Tausalz-Widerstands des Betons nicht, weshalb erwartungsgemäß bereits nach dem ersten Winter deutliche Zementsteinabwitterungen in der Betonoberfläche auftraten. Das ist nur ein Beispiel für einen Planungsfehler (nicht konkret ausgeschriebene Expositionsklasse XF4) und eine gedankenlose Bestellung des Betons (XF2 anstelle von XF4) durch das so genannte Fachunternehmen.



Bild 17: Frost-Tausalz-Schäden aufgrund falscher Betonbestellung

Der Autor:

Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß studierte Chemie an der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster. Nach der Promotion war er beim ZEM-LABOR in Beckum als Sachbearbeiter und stellvertretender Prüfstellenleiter tätig. Anschließend war er technischer Geschäftsführer der Duisburger Überwachungsverbände und des Baustoffüberwachungsvereins Nordrhein-Westfalen BÜV NW, bevor er als Prüfstellenleiter zum ZEMLABOR zurückkehrte. Seit 2002 ist er Geschäftsführer und Institutsleiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied Forschungsinstitut für vulkanische Baustoffe GmbH. Dr. Karl-Uwe Voss ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für den Bereich „chemische Analyse zementgebundener Baustoffe“

Ähnlich verhält es sich bei dem in Bild 18 gezeigten Beispiel, bei dem Mauer-scheiben als Abgrenzung eines Fahrbahnbelags zur Anwendung kamen. Auch hier war planungsgemäß davon auszugehen, dass die Fahrbahn und damit auch der obere Bereich der Stützwinkel mit Tausalzen beaufschlagt wird. Bereits nach dem ersten Winter zeigten sich im Bereich der Wandkrone deutliche Zementsteinabwitterungen. Gemäß den übergebenen Unterlagen war ein Beton C25/30, XC4 zur Herstellung der Mauer-scheiben ausgeschrieben und ein Beton der C25/30, XC4, XF1, XA1 verwendet worden. Aufgrund der hohen Wassersättigung des Betons in diesem Bereich und der zusätz-lichen Tausalzbeanspruchung durch Spritz-wasser hätte aber stattdessen ein Beton der Expositions-kategorie XF4 zur Anwendung kommen müssen. So waren die Schäden eine logische Folge der fehlerhaften Planung und Betonbestellung.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass dies nicht nur für befahrene Flächen gilt. Gerade fußläufig begangene Treppen-anlagen im Außenbereich zeigen häufig ver-gleichbare Schäden, da diese Treppen zur Sicherstellung der Begehbarkeit im Winter durch Anwendung von Tausalzen eisfrei gehalten werden. Im Ergebnis werden die als seitliche Begrenzung eingesetzten Mauer-scheiben Streusalzen ausgesetzt, so dass auch hier nicht selten Frost-Tausalz-Schäden resultieren (Bild 19). Auch bei solchen Treppenanlagen sind demnach Mauer-scheiben mit einem hohen Frost-Tausalz-Wider-stand (XF4) zu verwenden.



Bild 19: Frost-Tausalz-bedingte Abwitterungen an den vertikalen Wandflächen der Mauer-scheiben einer Treppenanlage

3.2 Nicht ausreichende Nachbehandlung

Nachbehandlungsfehler wirken sich auch und gerade auf die Frost-Tausalz-Bestän-digkeit von Betonen sehr negativ aus. Durch eine nicht sachgerechte Nachbehandlung des Betons wird der Hydratationsgrad in der Betonrandzone ggf. deutlich reduziert. Das hat zur Folge, dass der Zement in diesem Randbereich nicht in ausreichendem Umfang hydratisiert und der Beton in der Oberfläche „verdurstet“. Eine erhöhte Kap-illarporosität des Betons in der Rand-zone ist die Folge. Derartige Nachbehand-lungsfehler sind dünnschliffmikroskopisch durch erhöhte Restklinkeranteile (Bild 20) und durch gleichzeitig erhöhte Porositäten im Bereich der Betonoberfläche (hell-grüne Zone im Dünnschliff aus Bild 21 (ro-ter Pfeil)) nachweisbar. Häufig stehen diese Auffälligkeiten mit einer erhöhten Früh-



schwindrissbildung aufgrund einer frühen Austrocknung des Betons in der Betonoberfläche in Verbindung.

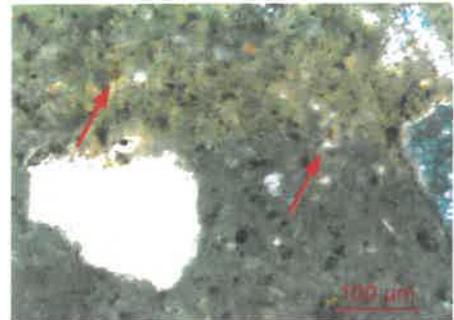


Bild 20: Erhöhte Restklinkergehalte des Betons in der Betonoberfläche

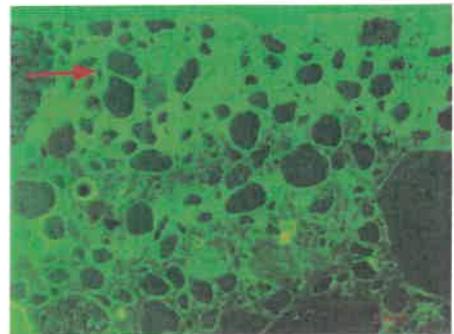


Bild 21: Erhöhte Porosität des Betons in der Betonoberfläche



Bild 18: Frost-Tausalz-bedingte Abwitterungen an den vertikalen Wandflächen der Mauer-scheiben, die neben einer Fahrbahnfläche verbaut wurden

3.3 Erhöhter w/z-Wert in der Betonoberfläche

Ein auf die Betonrandzone beschränkter, erhöhter w/z-Wert ist häufig auf ein starkes Bluten des Betons, auf die Betonein-bringung bei Regen oder auf das Einarbei-ten von Fremdwasser in die Betonoberfläche (z.B. im Rahmen des Glättens) zurückzuführen.

Zur Reduzierung der Gefahr des Bluten wurde die maximal zulässige Menge an Blutwasser im DBV-Merkblatt „Brücken-kappen aus Beton“ begrenzt. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass sich „gewisse Blut-

wassermengen“ sogar günstig auf die frühzeitige Nachbehandlung des Betons auswirken. Sondern der Beton keinerlei Blutwasser ab, so besteht ein deutlich erhöhtes Risiko, dass der Beton in der Betonrandzone „verdurstet“. Steht im Gegensatz dazu zum Glättzeitpunkt Wasser auf der Betonoberfläche auf und wird dieses Wasser in die Randzone des Betons eingearbeitet, so weist der Beton in dieser Zone einen hohen w/z-Wert und damit eine erhöhte Porosität (hellere Teilflächen im Dünnchliff von Bild 22) auf, was mit einer Qualitätsreduzierung der Betonrandzone einhergeht.

Aufgrund der hohen Porosität des Betons in der Betonrandzone saugt die Betonoberfläche in der Folge verstärkt Wasser auf (Bild 23), was die Gefahr für Frost- und Frost-Tausalz-Schäden deutlich erhöht.

Vor dem Hintergrund eines ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstands der Betonoberfläche stellt sich die Frage, ob die Ausführung eines Besenstrichs immer sinnvoll ist, oder ob in einigen Fällen nicht besser auf andere Ausführungsvarianten zurückgegriffen werden sollte. So ist festzustellen, dass durch die Aufbringung eines Besenstrichs im günstigsten Fall Zementleim an die Oberfläche des Betons gezogen wird. Im ungünstigeren Fall wird bei der Einbindung von zusätzlichem Wasser auch noch der w/z-Wert im Bereich des Besenstrichs erhöht.

Eine Oberfläche mit Besenstrich weist i.d.R. eine geringere Frost-Tausalz-Beständigkeit als z.B. eine geschliffene Betonoberfläche auf. Aus diesem Grunde sollten sich Planer fragen, ob es nicht sinnvoll ist, die Betonoberfläche (sofern aus Gründen der Rutsicherheit kein erhöhter Verdrängungsraum erforderlich ist) stattdessen zu schleifen, da die „minderwertigere“ Betonrandzone in diesem Fall entfernt und der Witterungswiderstand erhöht wird.

4 Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben

Nachdem in den ersten Abschnitten die Schadensbilder und die Einflüsse auf die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden beschrieben wurden, widmet sich dieser Abschnitt dem Thema der nachträglichen Bewertung (nach dem Einbau und während der Nutzung der Betonbauteile) der Normkonformität von Bauwerksproben.

Einleitend sei darauf hingewiesen, dass Nutzer im Regelfall davon ausgehen, dass Betonbauteile im Rahmen der üblichen Nutzung keinerlei Frost- bzw. Frost-Tausalz-Abwitterungen aufweisen dürfen. Das ist jedoch ein Fehleinschätzung, da auch regelwerkskonforme Betone mit einem ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand über die Nutzungszeit eine gewisse Menge an Abwitterungen aufgrund der Einwirkung

von Frost oder Frost-Tausalz aufweisen dürfen. Hieraus lässt sich auch ableiten, dass mit zunehmender Nutzungszeit und Nutzungsintensität der Betonbauteile auch mit steigenden Abwitterungsraten zu rechnen ist. Im Streitfall muss demnach geklärt werden, ob die Intensität der aufgetretenen Abwitterungen den regelkonformen Erwartungen für das Betonalter, die Umgebungsbedingungen und die Nutzungsintensität des Betons entsprechen.

4.1 Verfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands

Üblicherweise erfolgt der Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksbetonen entweder über den Nachweis der Luftporenkennwerte (s. Abschnitte 1.2.1 und 2.2.1) oder über den konkreten Nachweis des Witterungswiderstands mittels des so genannten „Slab-Tests“ (s. Abschnitt 4.1.1) bzw. des „CDF-Tests“ (s. Abschnitt 4.1.2).

4.1.1 Slab-Test

Beim so genannten Slab-Test handelt es sich um das Referenzprüfverfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonen nach DIN EN TS 12 390-9. Das Problem bei der Bewertung des Witterungswiderstands von Bauwerksbetonen besteht u.a. darin, dass keine konkreten, normati-

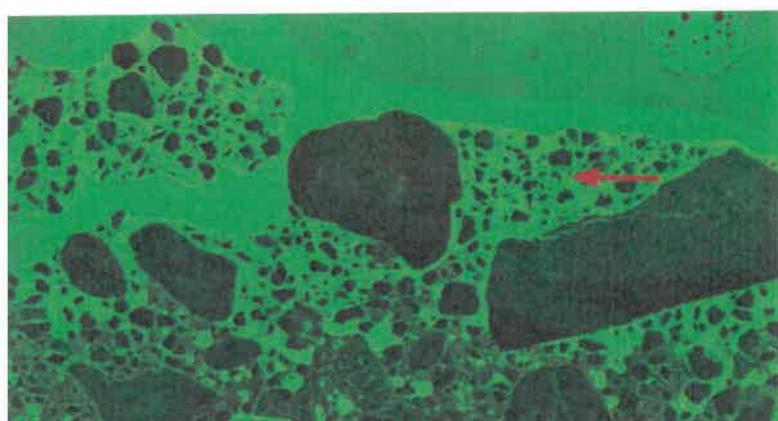


Bild 22: Erhöhung des w/z-Werts in der Betonoberfläche

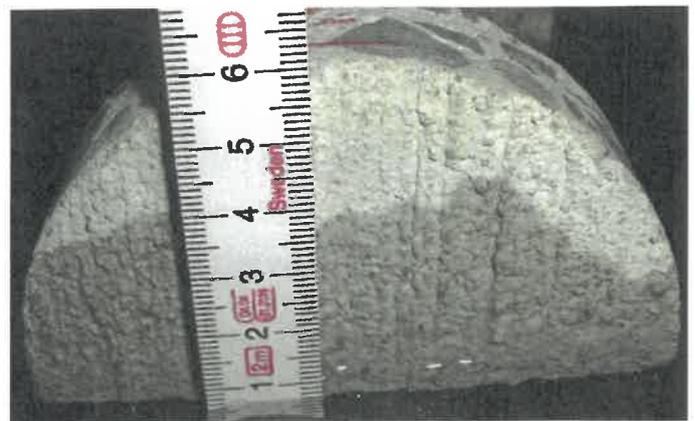


Bild 23: Große kapillare Saugfähigkeit der Betonoberfläche

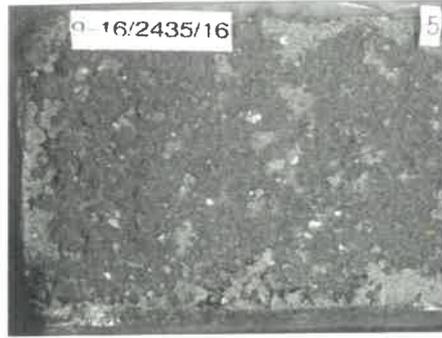
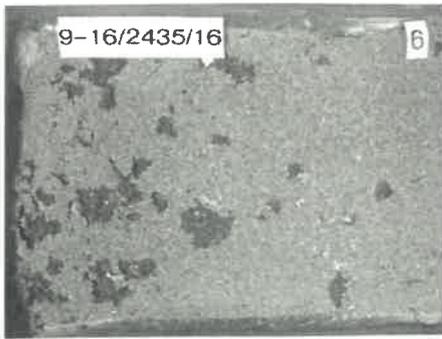


Bild 24: Betone mit einer Abwitterungsrate von 150 g/m² (links) bzw. 1 430 g/m² (rechts) im Rahmen des Slab-Tests

ven Anforderungen an die zulässige Abwitterungsrate des Betons festgelegt wurden. Konsultiert man das technische Regelwerk für vergleichbare Bauprodukte (wie z.B. den Betonpflastersteinen), so leitet sich eine zulässige, mittlere Abwitterungsrate von < 1000 g/m² ab, wobei kein Einzelwert über 1500 g/m² liegen sollte. Diese Prüfung hat an neuen und noch nicht genutzten Proben in einem Probenalter von > 28 d zu erfolgen, wobei die Prüfung gemäß DIN CEN TS 12 390-9 mit 56 Frost-Tauwechseln (inkl. Tausalz) zu erfolgen hat.

Bei einer angenommenen Rohdichte des Betons von 2300 kg/m³ entspricht eine Abwitterungsrate von 1000 g/m² einer flächendeckenden Abwitterung von rd. 0,4 mm. Um diese Anforderungswerte anschaulicher zu machen, zeigt Bild 24 Betonproben mit einer Abwitterungsrate von rd. 150 g/m² (im Bild links) bzw. von 1430 g/m² (im Bild rechts).

4.1.2 CDF-Test

Bei dem so genannten CDF-Test handelt es sich um ein sehr häufig angewandtes Alternativverfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands von Beton nach DIN CEN TS 12 390-9 (Bild 25), bei dem 28 Frost-Tau-Wechsel durchzuführen sind.

Wird ein Frost-Tausalz-Nachweis mittels des CDF-Tests gefordert, dann bietet es sich an, die Anforderungen an die zulässige Abwitterungsrate (mittlere Abwitterung von < 1500 g/m² bei einem größten Einzelwert von < 1800 g/m²) der ZTV-W festzulegen.

An dieser Stelle bleibt festzuhalten, dass der Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands mittels des CDF-Verfahrens (ebenso wie die Festlegung der einzuhaltenden Grenzwerte) konkret zwischen den Parteien zu vereinbaren und auch gesondert zu vergüten ist. Das ist auch bei der Untersuchung und Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben im Streitfall zu beachten. So ist es nicht sachgerecht, im Streitfall den CDF-Test zur Untersuchung von Bauwerks-

proben heranzuziehen, wenn dieser im Rahmen der Auftragsvergabe nicht konkret zur Beurteilung des Witterungswiderstands des Betons vereinbart worden war.

4.1.3 Einflüsse auf die Abwitterungsrate

In den nachfolgenden Abschnitten werden exemplarisch einige wesentliche Einflüsse dargestellt, die sich in erheblichem Umfang auf die Größenordnung der an Bauwerksproben im Rahmen von Frost- oder Frost-Tausalz-Versuchen ermittelten Abwitterungsraten auswirken. Diesbezüglich sind in erster Linie die nachfolgenden Punkte zu beachten:

- Einfluss der Anzahl an Frost-Tauwechseln im Rahmen der Nutzung,
- Einfluss der Art des Taumittels,
- Einfluss der Probenahme.

4.1.3.1 Einfluss der Anzahl an Frost-Tauwechsel aus der Nutzungsphase auf die Abwitterungsrate im Rahmen der Untersuchung im Streitfall

Die im Rahmen von Laborversuchen ermittelten Abwitterungsmengen ermöglichen es, den Frost-Tausalz-Widerstand von Beton zu Prüfzeitpunkt zu bewerten. Eine Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands des Betons zum Lieferzeitpunkt ist mittels dieser Verfahren jedoch nicht möglich.

So waren die Bauwerksbetone im Rahmen der Nutzung üblicherweise bereits einer Vielzahl von Beanspruchungen ausgesetzt, die zu einer Beeinträchtigung der Materialeigenschaften geführt haben können. Aus diesem Grunde sind die normativen Grenzwerte aus den Abschnitten 4.1.1 und 4.1.2 im Regelfall nicht ohne weiteres auf die Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben übertragbar.

Auf die Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands des Betons wirken sich insbesondere die bereits im Objekt (im Rahmen der Nutzung) erfolgten Frost-Tauwechsel aus. Diesbezüglich ist festzustellen, dass die Menge der Abwitterungen auch im Rahmen von Frost-Tauwechsel-Versuchen im Labor mit der Anzahl der Frost-Tauwechsel nicht linear, sondern exponentiell ansteigt. Anders formuliert bedeutet dies, dass die Menge der Abwitterungen bei den ersten 28 Frost-Tauwechseln deutlich geringer ist, als bei den Frost-Tauwechseln 29 bis 56.

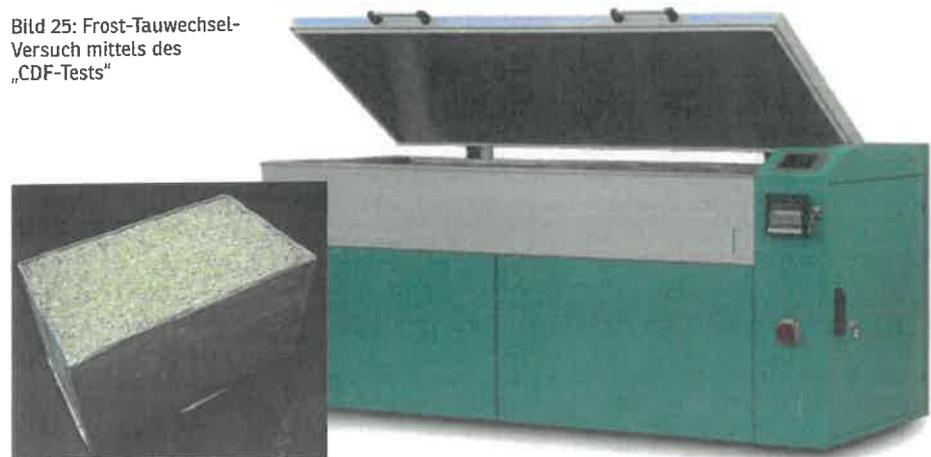
So lag die mittlere Abwitterungsrate im Rahmen der ersten 28 Frost-Tauwechsel des in Bild 26 dargestellten Versuchs bei rd. 65 g/m², während die mittlere Abwitterungsrate der zweiten 28 Frost-Tauwechsel-Serie (Frost-Tauwechsel 29 bis 56) bei rd. 220 g/m², also mehr als dem Dreifachen, lag.

Wie dieses Beispiel zeigt, wirkt sich die Anzahl der bereits erfolgten Frost-Tauwechsel ggf. in erheblichem Umfang auf die Abwitterungsrate des Betons im Rahmen der Frost-Tausalz-Prüfung zum Prüfzeitpunkt aus, selbst wenn die Produkte im Objekt keine augenscheinlich erkennbaren Schäden aufweisen.

4.1.3.2 Einfluss des verwendeten Taumittels auf die Abwitterungsrate

Als Streumittel zur Steigerung der Begehungssicherheit von Beton kommen heutzutage unterschiedlichste Chemikalien zum Einsatz. Bei dem wichtigsten Taumittel

Bild 25: Frost-Tauwechsel-Versuch mittels des „CDF-Tests“



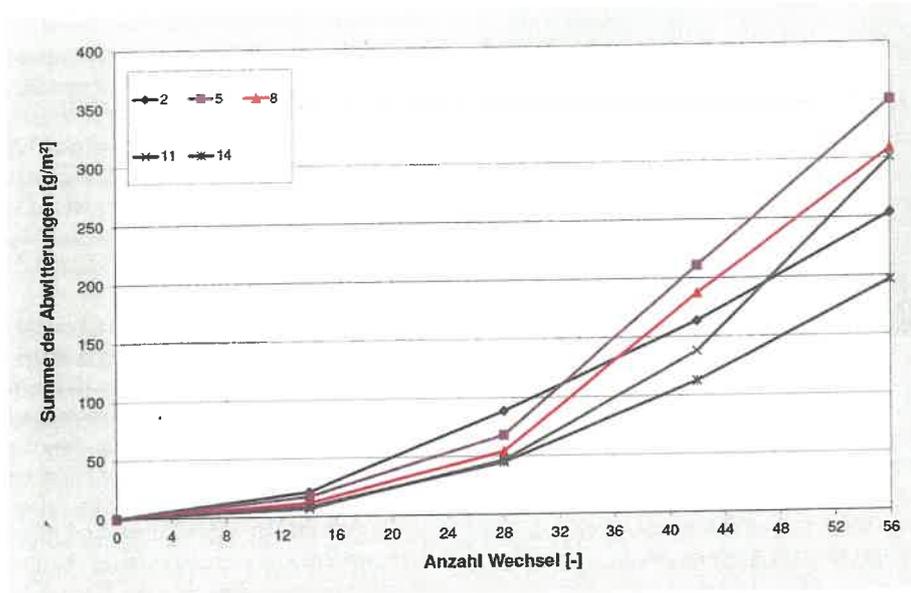


Bild 26: Abwitterungsrate im Rahmen der Frost-Tauwechsel-Versuche in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel

handelt es sich immer noch um Natriumchlorid, doch nimmt die Tendenz zur Verwendung anderer Taumittel immer mehr zu. So ist es nicht verwunderlich, dass in der TLStreu nicht nur Natriumchlorid, sondern auch Kalium-, Calcium- und Magnesiumchlorid als Auftaumittel genannt sind.

Grundsätzlich spricht nichts gegen die Verwendung dieser Streumittel zur Sicherstellung der Begehungssicherheit der Bauteile, allerdings ist zu beachten, dass der normative Nachweis des Frost-Taumittel-Widerstands von Betonen gemäß DIN CEN TS 12 390-9 mit Natriumchlorid und nicht mit Kalium-, Calcium- oder Magnesiumchlorid erfolgt.

Vor diesem Hintergrund spielen Untersuchungen der TU München eine wichtige Rolle, die zeigen, dass die Abwitterungsrate von Betonen im Rahmen der Überprüfung des Frost-Taumittel-Widerstands bei Verwendung von Magnesiumchlorid rd. 30 % und bei Verwendung von Calciumchlorid rd. 60 % größer als bei Verwendung von Natriumchlorid als Taumittel ist (Bild 27).

Diese Ergebnisse zeigen, dass ein Beton, der im Rahmen des Frost-Taumittel-Versuchs im Labor unter Einwirkung von Natriumchlorid die Anforderungen an den Witterungswiderstand mit einer Abwitterung von z.B. 900 g/m² erfüllen würde, weder bei Einwirkung von Magnesiumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1170 g/m²) noch von Calciumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1440 g/m²) als Taumittel den genannten, mittleren Grenz- bzw. Richtwert < 1000 g/m² erfüllt.

Wie diese Untersuchungen zeigen, müssen Betone, sofern diese geplant mit anderen Taumitteln beaufschlagt werden, im Rahmen des Frost-Tausalz-Nachweises (Erst-

prüfung) mit den in der Praxis konkret zum Einsatz kommenden Taumitteln geprüft werden.

Außerhalb des Straßenbaus (z.B. im Bereich von Kläranlagen oder Flugplätzen) ist die Sachlage noch komplizierter, da bei diesen Objekten zum Teil weitere Taumittel zur Anwendung kommen können. Diesbezüglich sind u.a. die nachfolgenden Taumittel zu nennen:

- alkoholische Mittel (z.B. ethylenglykohlhaltige Auftaumittel),
- Harnstoff- oder urethanhaltige Taumittel oder
- gerade im Bereich amerikanischer Flugplätze auch Enteismungsmittel wie z.B. Saveway.

Kommen diese Taumittel in Objekten zum Einsatz, kann nicht ohne weiteres davon ausgegangen werden, dass der normative

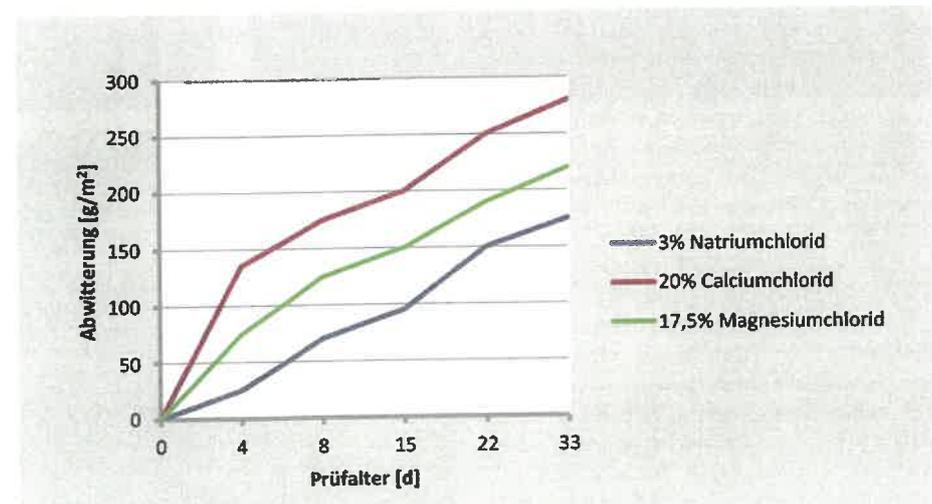


Bild 27: Einfluss der Art des Taumittels auf die Abwitterungsrate im Rahmen der Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstands von Betonen

Nachweis eines erhöhten Frost-Taumittel-Widerstands nach DIN CEN TS 12 390-9 sachgerecht auf die tatsächlich vorliegende Frost-Taumittel-Bearbeitung mit diesen Taumitteln übertragbar ist.

4.1.3.3 Einfluss der Probenahme auf die Abwitterungsrate

Eine weitere Schwierigkeit bei der Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonbauteilen aus Bauwerken besteht in der Frage, wo die Proben zu entnehmen sind. So muss im Rahmen des Ortstermins entschieden werden, ob für die Durchführung der Laboruntersuchungen bereits geschädigte oder völlig schadensfreie Teilflächen beprobt werden.

Prüfung bereits geschädigter Teilflächen

Frost- und Tausalz-Schäden resultieren daraus, dass sich Wasser beim Gefrieren im Beton ausdehnt. Weist der Beton keinen ausreichenden Witterungswiderstand auf, resultieren Schäden, die sich zuerst in einer Mikrorissbildung und in der Folge in Form von Rissen und Zementsteinabwitterungen äußern.

Betone, die schon Zementsteinabwitterungen zeigen, weisen demnach im Regelfall bereits Gefügestörungen oder zumindest Mikrorisse auf. Werden Proben aus bereits geschädigten Teilflächen entnommen und einer weiteren Frost-Tausalz-Prüfung unterzogen, dann dringt Wasser im Rahmen dieser Laborprüfung in diese Risse ein und es resultieren deutlich größere Abwitterungsraten.

Aus diesem Grunde ist die Prüfung von Proben aus bereits erheblich geschädigter Teilflächen – und dabei ist es unerheblich, ob die Schäden aus einem Frost-Tausalz-Angriff oder aus der mechanischen Vorschädigung des Betons resultieren, nicht sinn-

voll, da die Prüfung derartiger Proben weder eine Aussage zur Normkonformität des Betons zum Lieferzeitpunkt noch zur Restlebensdauer der ungeschädigten Teilflächen ermöglicht.

Prüfung ungeschädigter Teilflächen

In den meisten Fällen finden sich selbst bei sehr stark geschädigten Bauteilen, Teilflächen, in denen (noch) keine Schäden vorliegen. Diese Unterschiede im Erscheinungsbild der Bauteile können auf Qualitätsschwankungen zwischen Betonlieferungen, auf unterschiedliche Einbauzustände oder aber auch auf lokal variierende Nutzungsbedingungen zurückzuführen sein.

Die Entnahme und Prüfung ungeschädigter Proben aus Betonbauteilen ermöglicht die Beurteilung der Dauerhaftigkeit des Betons zum Prüfzeitpunkt. Anders formuliert kann auf Basis der Ergebnisse dieser Laboruntersuchung abgeleitet werden, ob bei den ungeschädigten Teilflächen davon auszugehen ist, dass diese auch in der Zukunft einen ausreichenden Witterungswiderstand aufweisen.

Eine Beantwortung der Frage, ob der Beton der Bauteile zum Einbaupunkt regelwerkskonforme Eigenschaften aufwies oder ob die Schäden an den geschädigten Teilflächen auf einen Frost-Tausalz-Angriff zurückzuführen sind, lässt sich aus den Ergebnissen von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Prüfungen im Regelfall nicht ableiten.

4.1.4 Widersprüchliche Ergebnisse

Besonders schwierig sind Fälle, bei denen im Rahmen der Laborversuche widersprüchliche Untersuchungsergebnisse ermittelt werden und zusätzlich juristische Belange zu beachten sind. So stellt sich die Frage, wie Untersuchungsergebnisse juristisch zu bewerten sind, wenn ein Beton keine ausreichenden Luftporenkennwerte aufweist, er aber einen ausreichenden Witterungswiderstand im Sinne z.B. des CDF-Tests besitzt? Das nachfolgende Beispiel stellt einen derartigen Fall dar. Bei diesem Streitfall waren in der Betonoberfläche Zementsteinabwitterungen entstanden (Bild 28), da Wasser im Rahmen des Glättprozesses in die Betonoberfläche eingearbeitet worden war (roter Pfeil in Bild 28). Hierbei handelt es sich aus technischer Sicht um einen Mangel.

Im Rahmen der weitergehenden Bearbeitung ging es darum, die Frage zu beantworten, wie die Betonfläche instand zu setzen ist. Zur Bewertung des Witterungswiderstands des Betons in den tieferen Schichten wurde der Beton auf dessen Luftporenkennwerte und in einer Tiefe von rd. 1 cm auf dessen Witterungswiderstand (geprüft mittels des CDF-Tests) untersucht.

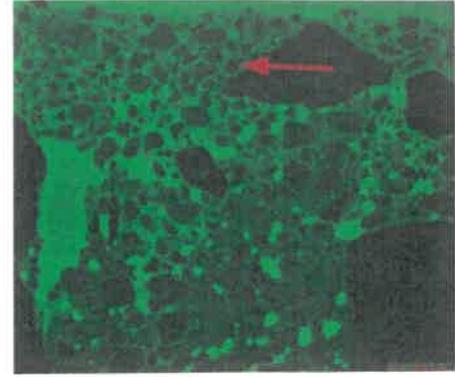


Bild 28: Zementsteinabwitterungen in der Betonoberfläche

Tafel 1: Ergebnisse der Bestimmung der Luftporenkennwerte

Ergebnisübersicht				Anforderung
Probenbezeichnung		Bk 1		
Gesamtluftporengehalt	A	Vol.-%	6,33	
MikroLuftporengehalt	A300	Vol.-%	1,27	≥ 1,8
Abstandsfaktor	L	mm	0,30	≤ 0,20

Im Rahmen der Bestimmung der Luftporenkennwerte zeigte sich, dass es sich im Sinne der Betonnorm nicht um einen so genannten LP-Beton handelt, da die Anforderungen an die Luftporenkennwerte nicht erfüllt wurden (Tafel 1). Die Anforderungen der Bestellung waren demnach nicht erfüllt.

Trotz der nicht erfüllten Luftporenkennwerte wurde bei den untersuchten Proben aufgrund der hohen Betonfestigkeit aber im Rahmen des CDF-Tests „nur“ eine mittlere Abwitterungsrate von etwas über 400 g/m² vorgefunden (Bild 29), sodass der Beton im Sinne des BAW-Merkblatts [7] einen ausreichenden Witterungswiderstand aufwies.

Im Ergebnis war somit festzustellen, dass der Beton zwar die Anforderungen an die bestellte Expositionsklasse XF4 nicht erfüllte, er unterhalb der Betonoberfläche (in einer Tiefe von rd. 1 cm) aber einen aus-

reichenden Frost-Tausalz-Widerstand im Sinne des BAW-Merkblatts [7] aufwies. Aus technischer Sicht hätte in diesem Fall demnach die nachfolgende Sanierung umgesetzt werden können:

Strahlen oder Fräsen und Kreuzkugelstrahlen der geschädigten Betonoberfläche bis zum gesunden (witterungswiderstandsfähigen) Beton.

Da der Beton in der Untersuchungstiefe nachweislich einen ausreichenden Witterungswiderstand (CDF-Test) aufwies, wären hier aus technischer Sicht keine weitergehenden Maßnahmen erforderlich. Als zusätzliche Maßnahme könnte die Betonoberfläche aber zusätzlich mit einer Silikatisierung oder einer Hydrophobierung versehen werden, die den Wasserzutritt in den oberflächennahen Beton nochmals reduziert.

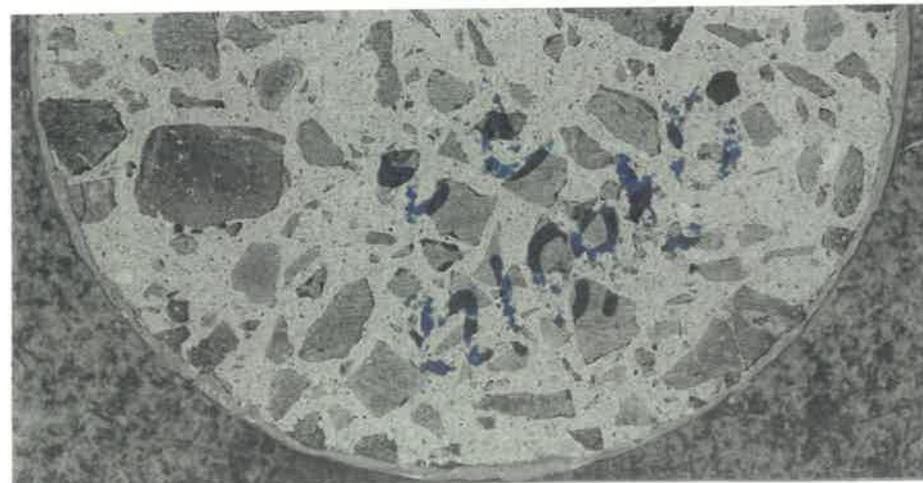


Bild 29: Prüfkörper nach der Durchführung des CDF-Tests

4.2 Normative Grundlagen für die Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben

Die wenigen normativen Vorgaben zur Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen beziehen sich auf die Materialeigenschaften von noch nicht eingebrachten und damit ungenutzten Betonbauteilen. Die entsprechenden Laboruntersuchungen dienen dem Nachweis einer sachgerechten Zusammensetzung der Betone, wobei die Prüfungen in einem definierten Prüfliter (im Regelfall von 28 d) zu erfolgen haben. Dies ist u.a. ein Grund dafür, warum die wenigen, im Technischen Regelwerk genannten, zulässigen Abwitterungsraten nicht direkt zur Bewertung von Bauwerksproben heranzuziehen sind. Somit ist im Ergebnis festzustellen, dass in den einschlägigen technischen Regelwerken keine zulässigen Abwitterungsraten für die Untersuchung von Bauwerksproben enthalten sind. Auch allgemein anerkannte Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Einbringung, Exposition (u.a. im Objekt erfolgte Frost-Tauwechsel) bzw. Nutzung der Betonbauteile liegen nicht vor.

Die Festlegung derartiger Abminderungsfaktoren ist aus technischer Sicht auch nicht sachgerecht möglich, da potenzielle Qualitätsreduzierungen von Betonen durch die Einbringung und/oder Nutzung in erheblichem Umfang von den konkreten Begebenheiten vor Ort abhängen. So werden Bauwerksproben sowohl im Rahmen der Betoneinbringung als auch der Nutzung (z.B. durch die Befahrung der Betonfläche oder die Frost-Tausalz-Beanspruchung) diversen Beanspruchungen ausgesetzt, die



Bild 30: Zementsteinabwitterungen oberhalb einzelner verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner

sich in erheblichem Umfang auf deren Witterungswiderstand auswirken.

Die Ergebnisse der Untersuchung von Bauwerksproben auf deren Witterungswiderstand dienen dem Zweck, sich einen Eindruck über die Qualität des Betons zum Prüfzeitpunkt zu verschaffen. Mittels dieser Ergebnisse ist eine direkte Bewertung der Konformität oder auch der Nichtkonformität des Betons zum Lieferzeitpunkt aber weder möglich noch zulässig.

4.3 Besonderheiten bei der Bewertung von Popouts oberhalb von Gesteinskörnern

Wesentlich für die Beurteilung von einzelnen, durch verwitterungsunbeständige Gesteinskörner verursachte Popouts in Betonflächen ist die Frage, in welcher Menge diese Zementsteinabwitterungen auftre-

ten. So ist aus normativer Sicht festzustellen, dass auch normenkonforme Gesteinskörnungen gewisse Mengen an verwitterungsunbeständigen Anteilen enthalten können und dürfen (Bild 30).

So dürfen Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 in Verbindung mit DIN 1045-2 im Rahmen von Frostversuchen an der Gesteinskörnung bis zu 1 M.% Abwitterungen (Deklaration F 1) aufweisen. Unter Berücksichtigung der normativ zulässigen Menge an Abwitterungen wurden die nachfolgend genannten Richtwerte für die Anzahl möglicherweise auftretender Betonabplatzungen in dem DBV-Merkblatt „Brückenkappen aus Beton“ [11] abgeschätzt:

- eine Abplatzung mit einem Durchmesser von bis zu 70 mm pro Quadratmeter, oder
- neun Abplatzungen mit einem Durchmesser von bis zu 35 mm pro Quadratmeter, oder
- 30 Abplatzungen mit einem Durchmesser von bis zu 10 mm pro Quadratmeter.

Anmerkung: Aus gutachterlicher Sicht erscheinen die im Merkblatt „Brückenkappen aus Beton“ genannten Richtwerte zu hoch (Bild 31), auch wenn sich die genannten Abwitterungsmengen durchaus aus den Grenzwerten der Gesteinskörnungsnorm ableiten lassen (DIN EN 12 620 in Verbindung mit DIN 1045-2).

Die Bildung einzelner Popouts oberhalb verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner ist nicht vollständig vermeidbar. Bei der Bewertung des Witterungswiderstands entsprechender Flächen stellt sich somit die Frage, ob z.B. die Menge der in Bild 31 dargestellten Popouts aus technischer Sicht einen Mangel darstellt oder nicht.

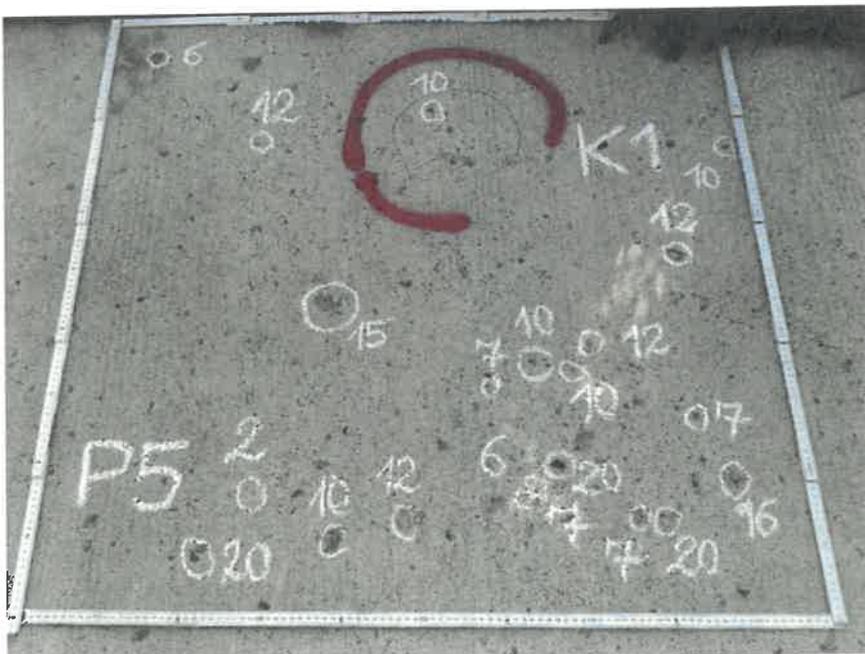
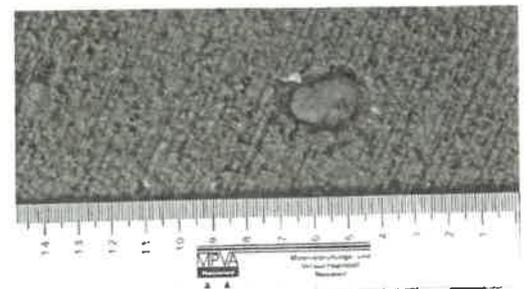


Bild 31: Zementsteinabwitterungen in Form von Popouts



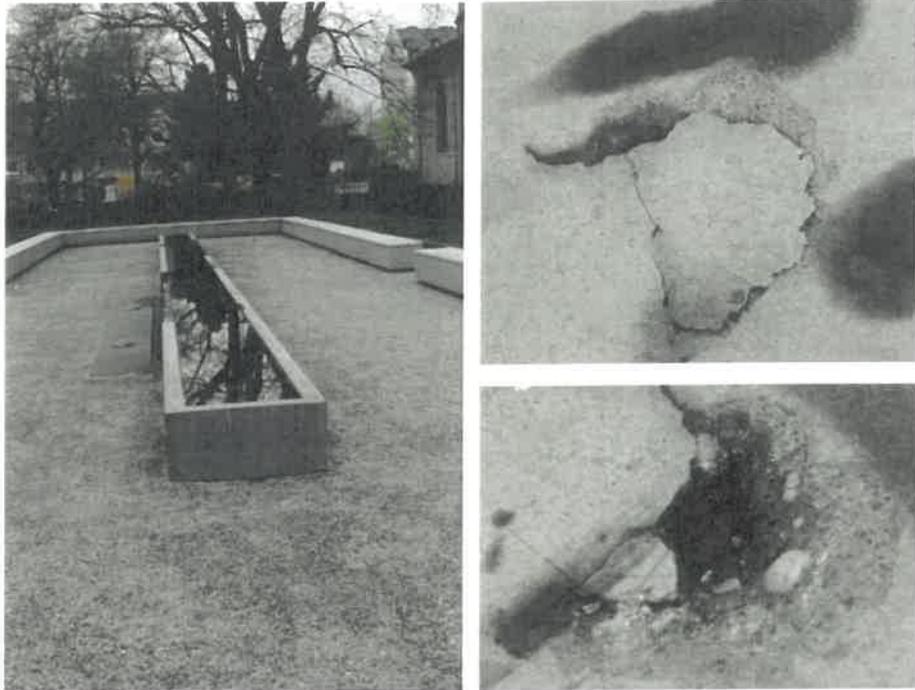


Bild 32: Brunnen aus Sichtbeton mit Zementsteinabwitterungen

Anmerkung: Juristische Bewertungen können deutlich von den technisch begründeten Bewertungen abweichen.

Bei dieser Bewertung ist neben der technisch zulässigen Abwitterungsrate insbesondere bei optisch repräsentativen Bauteilen auch die Optik der Bauteile zu berücksichtigen. Gerade aus diesem Grunde stellt die Bewertung von Frost- oder Frost-Tausalz-Schäden bei optisch hochwertigen Bauteilen eine Besonderheit dar, bei der nicht nur allein die Zementsteinabwitterung sondern auch das resultierende optische Erscheinungsbild des Bauteils in die Bewertung der Ergebnisse einfließen muss. Ein Beispiel hierfür stellt das nachfolgende Beispiel eines Brunnen aus Sichtbeton dar (Bild 32), an dessen Optik hohe Anforderungen gestellt wurden.

Die in Bild 32 abgebildeten Zementsteinabwitterungen stellen eine deutliche Beeinträchtigung der optischen Wirkung der Bauteile dar, obwohl der Anteil der Abwitterungen insgesamt sehr gering ist und die normativen Abwitterungsraten bei weitem nicht überschreitet. Dies ist darauf zurück zu führen, dass das oben abgebildete Bauteil nur eine geringe Funktionsbedeutung, dafür aber eine hohe optische Bedeutung besitzt. Aufgrund der signifikanten Beeinträchtigung der Optik des Brunnen stellen die vorgefundenen Zementsteinabwitterungen einen Mangel dar, obwohl die Grenzwerte des technischen Regelwerks an die zulässige Menge an Abwitterungen deutlich unterschritten werden [21].

Diese Diskussion verdeutlicht, warum die Bewertung von Zementsteinabwitterungen bei optisch repräsentativen Bauteilen so

schwierig ist. Die Beantwortung der nachfolgend aufgeführten Teilfragen sollte bei der Bewertung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden bei derartigen Bauteilen weiterhelfen:

- Erfüllt der Beton die Anforderungen der einschlägigen Technischen Regelwerke an die zulässigen (weil vereinbarten) Abwitterungsraten im Rahmen der Frost-Tausalz-Prüfung?
- Erfüllt die zur Betonherstellung eingesetzte Gesteinskörnung die Anforderungen des einschlägigen technischen Regelwerks (Abwitterung unter 1 M.-% im Rahmen des Frostversuchs der Gesteinskörnung)?
- Geht die Menge an Zementsteinabplatzungen über das übliche Maß hinaus?
- Handelt es sich um Bauteile mit einer hohen Anforderung an die Optik? Wie stark wird die Optik der Betonbauteile durch die Zementsteinabwitterungen beeinflusst?

Besonders schwierig ist die Beantwortung der dritten Frage, da für deren Beantwortung zum einen Kenntnisse über erwartungsgemäße Abwitterungsraten vorliegen müssen, zum anderen auch die Einflüsse aus der Betoneinbringung und Nutzung berücksichtigt werden müssen. Hierauf basierend muss beurteilt werden, welche Abwitterungsmenge unter den gegebenen Randbedingungen (klimatische Verhältnisse, Anzahl bereits erfolgter Frost-Tau-Wechsel, Frequentierung des Betons ggf. unter Berücksichtigung der vor Ort eingesetzten Fahrzeuge etc.) erwartungsgemäß ist.

Literatur

- [1] DIN EN 206: 06-2021 „Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“
- [2] DIN EN 480-11 12-2005 „Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Bestimmung von Luftporenkennwerten in Festbeton“
- [3] DIN 1045-2: 08-2008 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spann-beton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1“
- [4] DIN CEN TS 12 350-7:09-2019 „Prüfung von Frischbeton – Teil 7: Luftgehalt – Druckverfahren“
- [5] DIN CEN TS 12 390-9:05-2017 „Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung“
- [6] DIN EN 12 620: 2008-07 „Gesteinskörnungen für Beton“
- [7] Frostprüfung von Beton. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe 2012
- [8] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 2004
- [9] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (ZTV-W). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 2012
- [10] Surface delamination of concrete industrial floors. RILEM TC 268-SIF (2017)
- [11] Merkblatt Brückenkappen aus Beton. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV), Berlin 2011
- [12] Leitfaden Monolithische Bodenplatten. 2. Auflage, Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., Wien 2014
- [13] Steiner, J.: Bewehrte Industrieböden für Hallen und Freiflächen. Tagungsband 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2007, S. 37 ff.
- [14] Wöhl, U.: Betontechnologische Aspekte bei der Ausführung von Bodenplatten. Tagungsband 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2007, S. 57 ff.
- [15] Voß, K.-U.: Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Betonteilen. Straße und Autobahn (2011) H. 11
- [16] Büttner, T.; Wolff, L.; Raupach, M.: Schadensbilder beim maschinellen Glätten von LP-Beton – Ursachen und Lösungsansätze. beton 61 (2011) H. 7+8, S. 282 ff.
- [17] Krell, J.: Abplatzungen über gesunden, oberflächennahen Gesteinskörnern? Mangel trotz bestandener Erstprüfung? BFT International 79 (2013) H. 2
- [18] Voß, K.-U.: Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Betonteilen. Straße und Autobahn (2013) H. 11, S. 854 ff.
- [19] Eickschen, E.; Müller, C.: Luftporenbildung in Labor und Praxis. beton 63 (2013), H. 12, S. 511 ff.
- [20] Schäffel, P.: Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenerzeugnissen unter praxisnahen Verhältnissen. BFT International 82 (2016) H. 2
- [21] Krell, J.: Wen trifft die Erfolgshaftung? Frost-Tausalzschaden an Blockstufen im Garten. BFT International 83 (2017) H. 2, S. 21–22
- [22] Krell, J.; Fischer, P.: Glätten von Industrieböden aus Beton mit erhöhten Luftgehalten. beton 67 (2017) H. 12, S. 472 ff.
- [23] Filusch, S.: Glätten von Beton – der Spagat zwischen Trittfestigkeit und Erstarrungsende. Beton 68 (2018) H. 10, S. 368 ff.
- [24] Wiegrink, K.-H.: Ablösungen, Hohllagen und Rissbildungen bei geglätteten Industrieböden. 10. Internationales Kolloquium Industriefußböden (KiBo), März 2020, S. 387 ff.
- [25] Egger-Cresnik, G.; Kriegelach, K.; Harald, V.; Ressler, C.: Luftporen als Schadensursache beim maschinellen Nachbearbeiten (Glätten/Abscheiben) der Oberfläche von Beton ohne künstliche Luftporen. beton 71 (2021) H. 9, S. 290 ff.