

Witterungswiderstand von Betonen – Teil 2

(Fortsetzung aus Heft 6/2023)

3 Weitergehende Schadensursachen

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

- 1) Falsche Betonbestellung,
- 2) Nachbehandlungsfehler,
- 3) 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 Sanierungsmaßnahmen die Folge sind.

Bei dem im Abb. 15 abgebildeten Schadensfall wurde Frost-Tausalz-beständiger Beton der Festigkeitsklasse C45/55 bestellt und geliefert. Eine konkretere Ausschreibung der im beschriebenen Fall des Freidecks eines Parkhauses erforderlichen Expositionsklasse (XF4) erfolgte trotz des notwendigen Frost-Tausalz-Widerstandes des Betons nicht, weshalb erwartungsgemäß bereits nach dem ersten Winter deutliche Zementsteinabwitterungen in der Betonoberfläche entstanden. Dies ist nur ein Beispiel für einen Planungsfehler (nicht konkret ausgeschriebene Expositionsklasse XF4) und eine gedankenlose Bestellung des Betons (XF2 anstelle von XF4) durch das sog. Fachunternehmen.

Ähnlich verhält es sich bei dem nachfolgenden Beispiel aus Abb. 16, bei dem Mauerscheiben als Abgrenzung eines Fahrbahnbelags zur Anwendung kamen.



Abb. 15 a+b: Frost-Tausalz-Schäden aufgrund falscher Betonbestellung



Abb. 16 a+b: Frost-Tausalz-bedingte Abwitterungen an den vertikalen Wandflächen der Mauerscheiben, die neben einer Fahrbahnfläche verbaut wurden

Auch hier war planungsgemäß davon auszugehen, dass die Fahrbahn und damit auch der obere Bereich der Stützwinkel mit Tausalzen beaufschlagt werden. Bereits nach dem ersten Winter zeigten sich im Bereich der Wandkrone deutliche Zementsteinabwitterungen. Gemäß den übergebenen Unterlagen war ein Beton der Güte C 25/30, XC4 zur Herstellung der Mauerscheiben ausgeschrieben und ein Beton der Güteklasse C 25/30, XC4, XF1, XA1 verwendet worden. Aufgrund der hohen Wassersättigung des Betons in diesem Bereich und der zusätzlichen Tausalzbeanspruchung durch Spritzwasser hätte aber stattdes-

sen ein Beton der Expositionsklasse 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 Treppenanlagen im Außenbereich zeigen häufig derartige 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 Mauerstufen Streusalzen ausgesetzt, sodass auch hier nicht selten Frost-Tausalz-Schäden resultieren (Abb. 17).

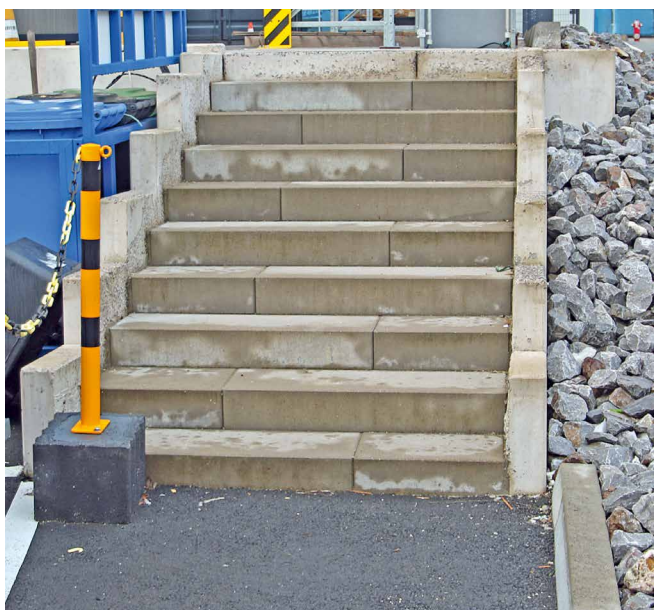


Abb. 17 a+b: Frost-Tausalz-bedingte Abwitterungen an den vertikalen Wandflächen der Mauerstufen einer Treppenanlage

Auch bei solchen Treppenanlagen sind demnach Mauerstufen mit einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand (XF4) zu verwenden.

3.2 Nicht ausreichende Nachbehandlung

Nachbehandlungsfehler wirken sich auch und gerade bei der Frost-Tausalz-Beständigkeit von Betonen sehr negativ aus. Durch eine nicht sachgerechte Nachbehandlung des Betons wird der Hydratationsgrad in der Betonrandzone ggf. deutlich reduziert. Dies hat zur Folge, dass das Bindemittel in diesem Randbereich nicht in ausreichendem Umfang hydratisiert und der Beton in der Oberfläche »verdurstet«. Eine erhöhte Kapillarporosität des Betons in der Randzone ist die Folge. Derartige Nachbehand-

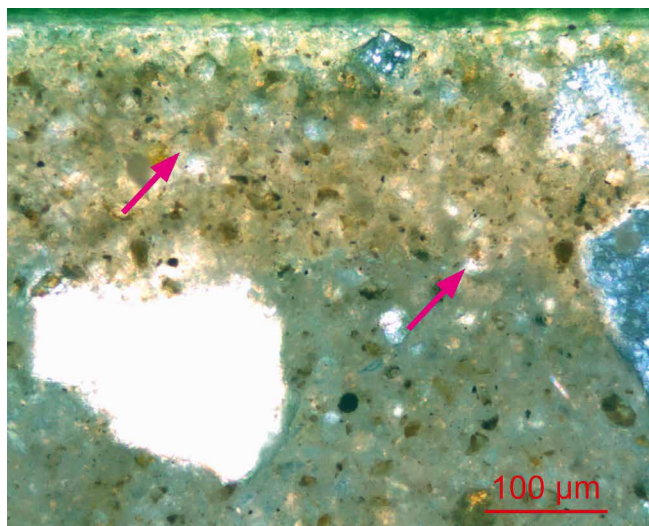


Abb. 18: Erhöhte Restklinkergehalte des Betons in der Betonoberfläche

lungsfehler sind dünnstschliffmikroskopisch durch erhöhte Restklinkeranteile (Abb. 18) und durch gleichzeitig erhöhte Porositäten im Bereich der Betonoberfläche (hellgrüne Zone im Dünnstschliff aus Abb. 19 (rote Pfeile) nachweisbar. Häufig stehen diese Auffälligkeiten mit einer erhöhten Frühschwindrissbildung aufgrund einer frühen Austrocknung des Betons in der Betonoberfläche in Verbindung.

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 Betoneinbringung bei Regen oder auf das Einarbeiten von Fremdwasser in die Betonoberfläche (z. B. im Rahmen des Glättens) zurückzuführen.

Zur Reduzierung der Gefahr des Blutens wurde die maximal zulässige Menge an Blutwasser im DBV-Merkblatt »Brückenkapfen aus Beton« [11] begrenzt. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass sich »gewisse Blutwassermengen« 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 in sehr frühem Stadium »verdurstet«. Steht im Gegensatz dazu zum Glättzeit-

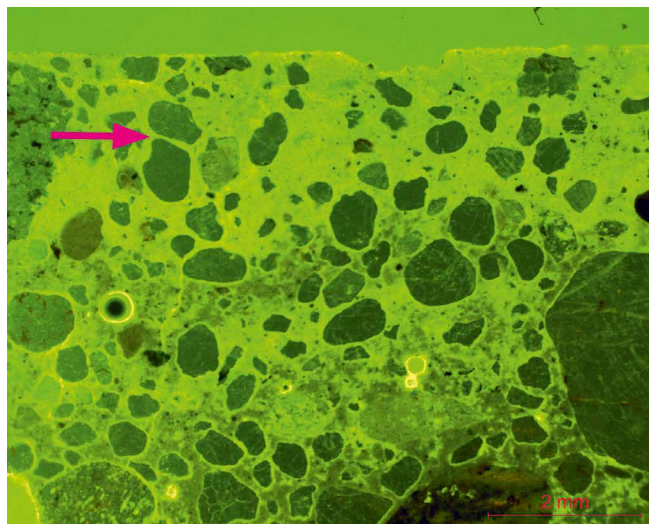


Abb. 19: Erhöhte Porosität des Betons in der Betonoberfläche

punkt 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 Dünnschliff aus Abb. 20) auf, was mit einer Qualitätsreduzierung der Betonrandzone einhergeht.

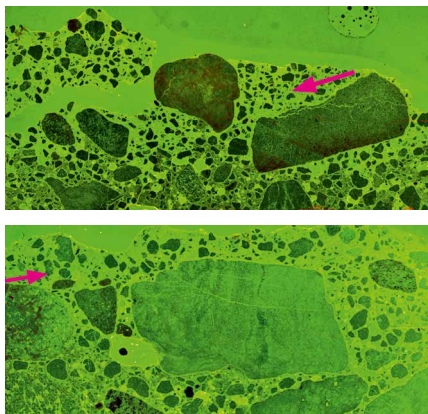


Abb. 20 a+b: Erhöhung des w/z-Werts in der Betonoberfläche

Aufgrund der hohen Porosität des Betons in der Betonrandzone saugt die Betonoberfläche in der Folge verstärkt Wasser auf (Abb. 21), was die Gefahr von 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

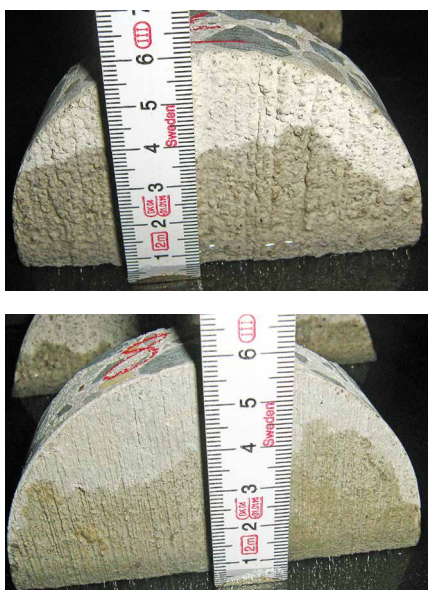


Abb. 21 a+b: Große kapillare Saugfähigkeit der Betonoberfläche

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.

Da der Zementstein die minderwertigste Schicht des Betons ist, weist der Besenstrich eine reduzierte Frost-Tausalz-Beständigkeit im Vergleich z. B. zu einer geschliffenen Betonoberfläche auf. Aus diesem Grunde sollten sich Planer fragen, ob es nicht sinnvoll ist, die Betonoberfläche (sofern aus Gründen der Rutschsicherheit 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. Dies ist jedoch ein Trugschluss, 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 erwartungsgemäß für das Betonalter, die Umgebungsbedingungen und die Nutzungsintensität des Betons sind.

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 (siehe Ab-

schnitte 1.2.1 und 2.2.1 in Teil 1, Heft 6/2023) oder über den konkreten Nachweis des Witterungswiderstands mittels des sog. »Slab-Tests« (Abschnitt 4.1.1) bzw. des »CDF-Tests« (Abschnitt 4.1.2).

4.1.1 Slab-Test

Beim sog. Slab-Test handelt es sich um das Referenzprüfverfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen nach **DIN CEN TS 12 390-9**. Das Problem bei der Bewertung des Witterungswiderstands von Bauwerksbetonen besteht u. a. darin, dass keine konkreten, normativen Anforderungen an die zulässige Abwitterungsrate der Betons festgelegt wurden. Bedient man sich des Technischen Regelwerks vergleichbarer Bauprodukte (wie z. B. den Betonpflastersteinen), so leitet sich eine zulässige, mittlere Abwitterungsrate von $< 1.000 \text{ g/m}^2$ ab, wobei kein Einzelwert über 1.500 g/m^2 liegen sollte. Diese Prüfung hat an neuen und noch nicht genutzten Proben in einem Probenalter von > 28 Tagen 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 2.300 kg/m^3 entspricht eine Abwitterungsrate von 1.000 g/m^2 einer flächendeckenden Abwitterung von ca. $0,4 \text{ mm}$. Um diese Anforderungswerte anschaulicher zu machen, zeigt Abb. 22 Betonproben mit einer Abwitterungsrate von ca. 150 g/m^2 (in Abb. 22a) bzw. von 1.430 g/m^2 (in Abb. 22b).

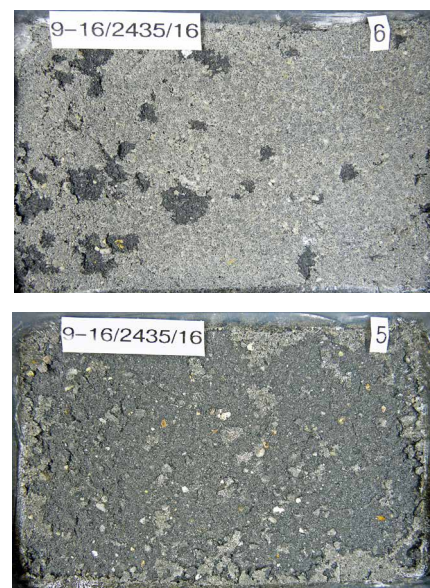


Abb. 22 a+b: Betone mit einer Abwitterungsrate von 150 g/m^2 (links) bzw. von 1.430 g/m^2 (rechts) im Rahmen des Slab-Tests

4.1.2 CDF-Test

Bei dem sog. CDF-Test handelt es sich um ein sehr häufig angewendetes Alternativverfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen nach **DIN CEN TS 12 390-9** (siehe Abb. 23), bei dem 56 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 $< 1.500 \text{ g/m}^2$ bei einem größten Einzelwert von $< 1.800 \text{ g/m}^2$) 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. Dies 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 Bauwerksproben 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 Betonen zum 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 aus-

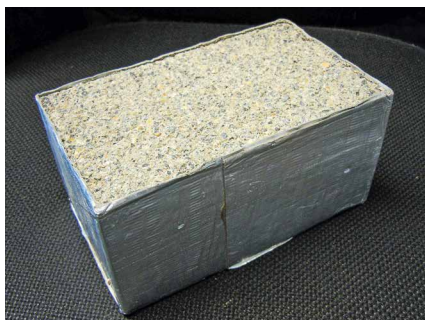


Abb. 23 a+b: Frost-Tauwechsel-Versuch mittels des »CDF-Tests«

gesetzt, 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 auch 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 (roter Pfeil in der Abb. 24) deutlich geringer ist, als bei den Frost-Tauwechseln 29 bis 56 (blauer Pfeil in der Abb. 24).

So lag die mittlere Abwitterungsrate im Rahmen der ersten 28 Frost-Tauwechsel des in Abb. 24 dargestellten Versuchs bei ca. 65 g/m^2 , während die mittlere Abwitterungsrate der zweiten 28 Frost-Tauwechsel (Frost-Tauwechsel 29 bis 56) bei ca. 220 g/m^2 , 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 Betonen kommen heutzutage unterschiedlichste Chemikalien zum Einsatz. Bei dem wichtigsten Taumittel 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 **TL Streu** 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.

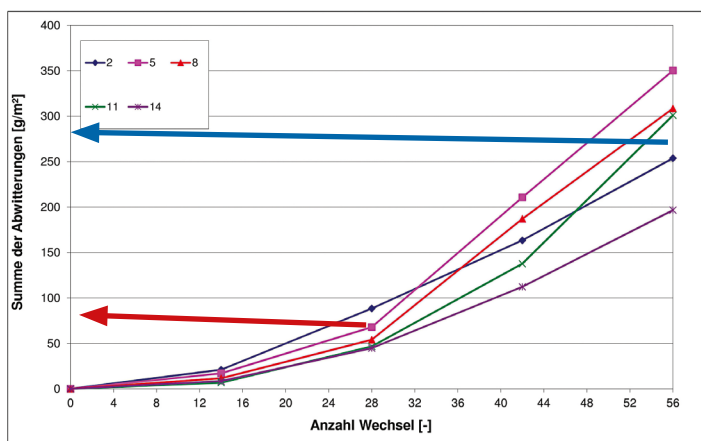


Abb. 24: Abwitterungsrate im Rahmen der Frost-Tauwechsel-Versuche in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tauwechsel

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 ca. 30 % und bei Verwendung von Calciumchlorid ca. 60 % größer als bei Verwendung von Natriumchlorid als Taumittel ist (siehe Abb. 25).

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 beispielsweise 900 g/m² erfüllen würde, weder bei Einwirkung von Magnesiumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1.170 g/m²) noch von Calciumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1.440 g/m²) als Taumittel den genannten, mittleren Grenz- bzw. Richtwert von < 1.000 g/m² erfüllt.

Wie diese Untersuchungen zeigen, müssen Betone, sofern diese geplant mit anderen Taumitteln beaufschlagt werden, im Rahmen des Frost-Tausalz-Nachweises (Erstprüfung) 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 Enteisungsmittel wie z. B. Saveway.

Kommen diese Taumittel in Objekten zum Einsatz, kann nicht ohne Weiteres davon ausgegangen werden, dass der normative Nachweis eines erhöhten Frost-Taumittel-Widerstands nach **DIN EN TS 12 390-9** sachgerecht auf die tatsächlich vorliegende Frost-Taumittel-Beanspruchung 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 geschädigten Teilflächen sinnvoll – und dabei ist es unerheblich, ob die Schäden aus einem Frost-Tausalz-Angriff oder aus der mechanischen Vorschädigung des Betons resultieren, 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 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 damit zu rechnen ist, dass diese auch in Zukunft einen ausreichenden Witterungswiderstand aufweisen.

Eine Beantwortung der Frage, ob der Beton der Bauteile zum Einbauzeitpunkt 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, der Beton 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 (Abb. 26), da Wasser im Rahmen des Glättprozesses in die Betonoberfläche eingearbeitet worden war (roter

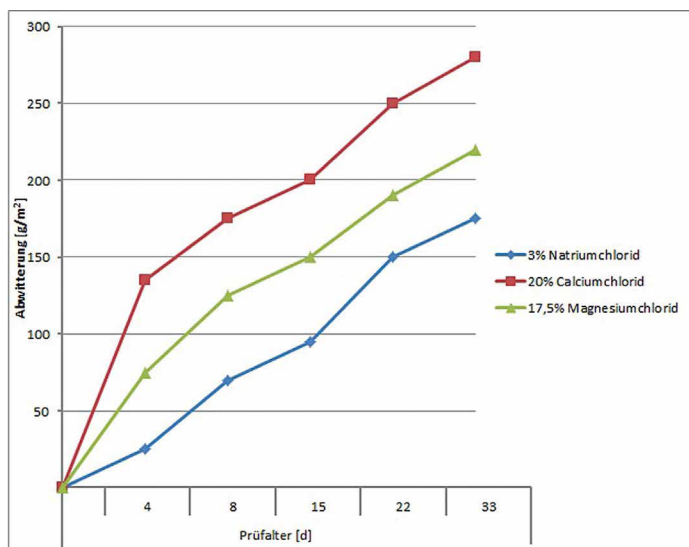


Abb. 25: Einfluss der Art des Taumittels auf die Abwitterungsrate im Rahmen der Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstands von Betonen

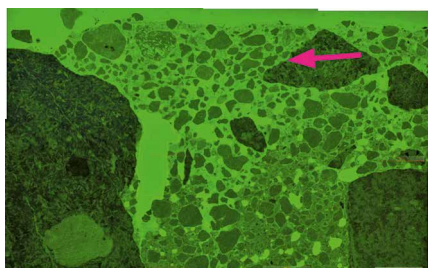


Abb. 26 a-b: Zementsteinabwitterungen in der Betonoberfläche

Pfeil aus Abb. 26). 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 zu sanieren ist. Zur Bewertung des Witterungswiderstands des Betons in den tieferen Schichten wurde der Beton auf dessen Luftporenkennwerte und in einer Tiefe von ca. 1 cm auf dessen Witterungswiderstand (geprüft mittels des CDF-Tests) untersucht.

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

Trotz der nicht erfüllten Luftporenkennwerte wurde bei den untersuchten Proben aufgrund der hohen Betonfestigkeit aber »nur« eine mittlere Abwitterungsrate von etwas über 400 g/m² im Rahmen des CDF-Tests vorgefunden

Tabelle 1: Ergebnisse der Bestimmung der Luftporenkennwerte

Ergebnisübersicht				Anforderung
Probenbezeichnung		Bk 1		
Gesamtluftporengehalt	A	[Vol.-%]	6,33	–
Mikrofluftporengehalt	A ₃₀₀	[Vol.-%]	1,27	≥ 1,8
Abstandsfaktor	L	[mm]m	0,30	≤ 0,20



Abb. 27: Prüfkörper nach der Durchführung des CDF-Tests

(Abb. 27), der Beton weist somit im Sinne des BAW-Merkblattes [7] einen ausreichenden Witterungswiderstand auf.

Im Ergebnis ist also festzustellen, dass der Beton zwar die Anforderungen an die bestellte Expositionsstufe XF4 nicht erfüllt, der Beton unterhalb der Betonoberfläche (in einer Tiefe von ca. 1 cm) aber einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand im Sinne des **BAW-Merkblattes** [7] aufweist. Aus technischer Sicht könnte in diesem Fall demnach die nachfolgende Sanierung umgesetzt werden:

- Strahlen oder Fräsen und Kreuzkugelschleifen der geschädigten Betonoberfläche bis zum gesunden (witterungswiderstandsfähigen) Beton.
- Da der Beton in der Untersuchungstiefe nachweislich einen ausreichenden Witterungswiderstand (CDF-Test) aufweist, 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 reduziert.

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 Rezeptierung der Betone, wobei die Prüfungen in einem definierten Prüfalter (im Regelfall von 28 Tagen) 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 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 der Frost-Tausalz-Versuche 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 auftreten. So ist aus normativer Sicht festzustellen, dass auch normenkonforme Gesteinskörnungen gewisse Mengen an verwitter-



Abb. 28: Zementsteinabwitterungen oberhalb einzelner verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner

rungsunbeständigen Anteilen enthalten können und dürfen (siehe Abb. 28).

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
- 9 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 (siehe Abb. 29), auch wenn sich die genannten Abwitterungsmengen durchaus aus den Grenz-



Abb. 30 a-c: Zementsteinabwitterungen oberhalb witterungsunbeständiger Gesteinskörner

werten der Gesteinskörnungsnorm ableiten lassen (**DIN EN 12620** 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 Abb. 29 dargestellten Popouts aus technischer Sicht einen Mangel darstellt oder nicht.

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

Bei dieser Bewertung ist neben der technisch zulässigen Abwitterungsrate gerade 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 Beispiel eines Brunnens aus Sichtbeton dar (Abb. 30), an den hohe Anforderungen an die Optik gestellt wurden.

Die in Abb. 30 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 zurückzuführen, dass das oben abgebildete Bauteil nur eine geringe Funktionsbedeutung, dafür aber eine hohe optische Bedeutung besitzt. Aufgrund der signifikanten Beeinträchtigung der Optik des Brunnens stellen die vorgefundenen Zementsteinabwitterungen einen Mangel dar, obwohl die Grenzwerte des Technischen Regelwerkes an die zulässige Menge an Abwitterungen deutlich unterschritten wird [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:

1. Erfüllt der Beton die Anforderungen der einschlägigen Technischen Regelwerke an die zulässigen (weil vereinbarten) Abwitterungsraten im Rahmen der Frost-Tausalz-Prüfung?
2. Erfüllt die zur Betonherstellung eingesetzte Gesteinskörnung die Anforderungen des einschlägigen Technischen Regelwerks (Abwitterung unter 1 M.-% im Rahmen des Frostversuchs der Gesteinskörnung)?

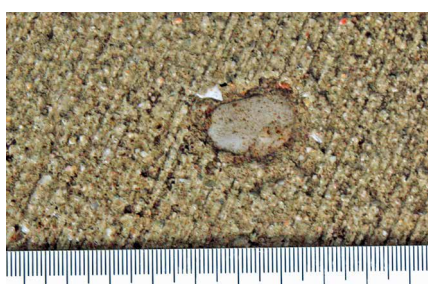


Abb. 29 a-c: Zementsteinabwitterungen in Form von Popouts

3. Geht die Menge an Zementsteinabplatzungen über das übliche Maß hinaus?
4. 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 Frage aus Ziffer 3, da dafür 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, u.s.w.) erwartungsgemäß ist.

Literaturverzeichnis

aus Teil 1, Heft 6 2023 Der Bausachverständige:

- [7] Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (Hrsg.): BAW Merkblatt. Frostprüfung von Beton (MFB). Karlsruhe: BAW, 2012
- [11] DBV-Merkblatt 04-11. Brückenkapfen aus Beton
- [19] Eickschen, Eberhard; Müller, Christoph: Luftporenbildung in Labor und Praxis. Straße + Autobahn 65 (2014), Nr. 10, S. 799-807
- [20] Schäffel, Patrick: Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenerzeugnissen unter praxisnahen Verhältnissen. BFT International 82 (2016), Nr. 2, S. 30-31
- [21] Krell, Jürgen: Wen trifft die Erfolgshaftung – Frost-Tausalzschaden an Blockstufen im Garten. BetonTage, Nr. 61, Neu-Ulm, 14.02.2017-

16.02.2017. In: BFT International 83 (2017), Nr. 2, S. 21-22

- [22] Krell, Jürgen; Fischer, Petra: Glätten von Industrieböden aus Beton mit erhöhten Luftgehalten. Beton 67 (2017), Nr. 12, S. 472-475
- [23] Filusch, Sebastian: Glätten von Beton – der Spagat zwischen Trittfestigkeit und Erstarrungsende. Beton 68 (2018), Nr. 10, S. 368-372
- [24] Wiegrink, Karl-Heinz (Hrsg.): Ablösungen, Hohllagen und Rissbildungen bei geglätteten Industrieböden. 10. Internationales Kolloquium Industriefußböden. Tübingen: expert Verlag, 2020
- [25] Egger-Cresnik, Guido; Kiss, Harald; Ressler, Christoph: Abplatzungen bei monolithischen Betonplatten – Luftporen als Schadensursache beim maschinellen Nachbearbeiten (Glätten/Abscheiben) der Oberfläche von Beton ohne künstliche Luftporen. Beton 71 (2021), Nr. 9, S. 290-294

Der Autor

Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß

Seit 2005 von der IHK Koblenz als Sachverständiger für Analyse zementgebundener Baustoffe öffentlich bestellt und vereidigt; seit 2013 im Vorstand des QS-Pflaster; seit 2014 im Vorstand des LVS Rheinland-Pfalz; seit Dezember 2014 wurde der Bestellungsenior auf den Bereich der Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen und anderen Betonwaren ausgedehnt

Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH
Sandkauler Weg 1, 56564 Neuwied
Tel. 02631/3993-23, Fax 02631/3993-40
voss@mpva.de

