

Beton: Kann man Dauerhaftigkeit prüfen?

Von André Hahn und Hagen Uhlig, Karsdorf

1 Einleitung

„Betonbauteile, die wiederholten Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt sind, müssen dauerhaft sein und einen ausreichenden Widerstand gegen diesen Angriff besitzen. Außerdem müssen Betonbauteile, die beispielsweise im Straßenbau eingesetzt werden, einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen.“ [1] Weitergehend schreibt DIN CEN/TS

12390-9 (Plattenprüfverfahren als Referenzprüfverfahren) in der Einleitung vor: „Um Grenzwerte anwenden zu können, ist es erforderlich, die Korrelation zwischen Laborprüfung und dem Verhalten der Betone in der Praxis zu ermitteln.“ [1] Genau an dieser Stelle streiten sich heutzutage noch die Fachleute. Es entstanden Konflikte: Betone, die ihre Praxis-tauglichkeit in Jahrzehnten bewiesen hatten, hielten einzelnen neuen

Schnellprüfverfahren nicht stand und wurden damit zum „Mangel ohne Schaden“ – einem juristischen und finanziellen Problem für die Betonhersteller. Dem Bestreben, europäische Bauregeln in allen Mitgliedsstaaten einzuführen, stehen unterschiedliche nationale ergänzende Anwendungsregeln gegenüber. Das ist wegen differenzierter klimaabhängiger Beanspruchungen der Betonbauteile nachvollziehbar. Unterschiedlich sind jedoch die zugehörigen Vorschriften auf der Ebene der Bundesländer in Deutschland. Sogar einzelne Städte schreiben eigene Prüfverfahren in Ergänzung zur übergeordneten Landesbehörde vor. Entwickelt sich Deutschland bezüglich dieser Betonprüfungen zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit zurück zur Kleinstaaterei?

Tafel 1: Vergleich ausgewählter Frost-Tausalz-Prüfverfahren [1, 2, 3]

| Prüfverfahren | DIN CEN/TS 12390-9 Referenzprüfverfahren | CDF-Verfahren | Prüfvorschrift Sachsen-Anhalt | Prüfrichtlinie Freistaat Sachsen |
|---|---|--|--|--|
| Bundesland | alle Bundesländer | Freistaat Thüringen | Sachsen-Anhalt | Freistaat Sachsen |
| Herstellung der Probekörper | DIN EN 12390-2 | DIN EN 12390-2 + PTFE-Platten ¹⁾ | DIN EN 12390-2 | DIN EN 12390-2 |
| Probepreparation | Schneiden der Würfel nach 21 Tagen, Versiegeln der Seitenflächen mit Gummischicht | Abdichten der Seitenflächen mit selbstklebendem, alukaschiereten Butylband oder mit Epoxidharz | | Abdichten der Seitenflächen mit Epoxidharz |
| Prüffläche | geschnittene Fläche des Würfels | Seitenfläche des Probekörpers (schalseitige PTFE-Platten ¹⁾) | abgezogene Würfeloberfläche + 10 mm umlaufende Seitenfläche | abgezogene Würfeloberfläche |
| Anzahl der Probekörper | 4 Probekörper | 5 Probekörper | 3 Würfel + 3 Würfel für f_{sp} | mindestens 3 Würfel (Prüffläche = 500 cm ²) |
| Sättigung vor Frost-Tau-Wechsel-Belastung | entionisiertes Wasser auf der Prüffläche, Dauer 3 Tage | 3 %ige NaCl-Lösung, Dauer 7 Tage | 3 %ige NaCl-Lösung, Dauer 4 Tage | demineralisiertes Wasser, Dauer 6 Tage + 1 Tag komplett unter Wasser |
| Beginn der Prüfung nach Herstellung der Probekörper | 31 Tage | 35 Tage | 32 Tage | 35 Tage |
| Regelung der Temperatur | in der Prüfflüssigkeit auf der Prüffläche, Genauigkeit: $\pm 0,5$ K | Messpunkt in der Kühlflüssigkeit unterhalb eines Behälters, Genauigkeit: $\pm 0,5$ K | in der Prüflösung eines Probebehälters, mittig im Klimaschrank, Genauigkeit: ± 1 K | Messfühler mittig einbetoniert in gesondertem Probekörper |

¹⁾ Polytetrafluorethylen-Platten

2 Vergleich der Prüfverfahren

Tafel 1 zeigt den Vergleich der Probekörperherstellung für die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands. Hier weist das Plattenprüfverfahren die Mitte des Probekörpers als Prüf- fläche aus, bei der CDF-Prüfung, dem Alternativverfahren nach DIN CEN/TS 12390-9, sind es die Seiten- flächen des Würfels, die bei der Herstellung mit Polytetrafluorethy- len-Platten ausgelegt werden. Im Freistaat Sachsen und in Sachsen- Anhalt werden die Oberflächen der Würfel in den Prüfungen bean- sprucht. Auch bei den Prüfkörper- vorbehandlungen weisen die Prüf- verfahren im Bezug auf das Medium für die Vorlagerung Unterschiede

auf, beginnend von entionisiertem Wasser bis hin zu 3%igen Natrium- chloridlösungen. Der Zeitraum der jeweiligen Probekörpervorlagerung differiert von 3 Tagen bis zu 7 Tagen. Demzufolge unterscheiden sich auch die Zeitpunkte für den Beginn der Prüfungen: Bei dem Referenzprüf- verfahren wird nach 31 Tagen ge- prüft, beim CDF-Verfahren und nach der Prüfrichtlinie des Freistaates Sachsen erst nach 35 Tagen (Tafel 1).

Interessant ist auch der Vergleich der verschiedenen Temperaturzyklen (Tafel 2). Liegen die Temperaturbe- reiche bei allen Prüfverfahren an- nähernd zwischen 20 °C und -20 °C, variieren jedoch die Zyklen zwischen 10 bzw. 11 Stunden nach dem säch-

sischen Verfahren, 12 Stunden nach dem CDF-Verfahren und der Prüf- vorschrift Sachsen-Anhalt sowie 24 Stunden nach dem Plattenprüf- verfahren je Prüfzyklus, Bild 1. Demzufolge kann ein Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands der Be- tonsorte für die Erstprüfung nach CDF-Verfahren schon nach 51 Tagen erfolgen. Sollte jedoch das Referenz- prüfverfahren der Europäischen Norm gefordert werden, sind 87 Ta- ge im Vorfeld notwendig, um eine Aussage darüber zu erhalten, ob die gewählte Betonzusammensetzung die Anforderung erfüllt.

Gemeinsam verwenden alle Ver- fahren eine 3%ige Natriumchlorid- lösung als Prüfflüssigkeit. Jedoch

Tafel 2: Vergleich ausgewählter Frost-Tausalz-Prüfverfahren [1, 2, 3] (Fortsetzung von Tafel 1)

| Prüfverfahren | DIN CEN/TS 12390-9 Referenzverfahren | CDF-Verfahren | Prüfvorschrift Sachsen-Anhalt | Prüfrichtlinie Freistaat Sachsen |
|---|---|--|---|---|
| Bundesland | alle Bundesländer | Freistaat Thüringen | Sachsen-Anhalt | Freistaat Sachsen |
| Prüflösung während der Frost-Tau-Wechsel-Prüfung | 3%ige NaCl-Lösung | 3%ige NaCl-Lösung | 3%ige NaCl-Lösung | 3%ige NaCl-Lösung |
| Aufbringen der Prüflösung | Probe mit Prüfflüssigkeit überdeckt | Probe 1 cm eingetaucht | Probe 1 cm eingetaucht | Probe 1 cm eingetaucht |
| Temperaturwechsel von bis | +20 °C bis -20 °C ± 2 K | +20 °C bis -20 °C ± 1 K | +20 °C bis -20 °C ± 1 K | +20 °C bis -20 °C |
| Dauer eines Wechsels | 24 h | 12 h | 12 h | 10–11 h |
| Anzahl der FTW (Frost-Tau-Wechsel) ²⁾ | 56 FTW | 28 FTW | 50 FTW | 56 FTW |
| Dauer der Prüfung | 28 + 3 + 56 = 87 Tage | 28 + 7 + 14 = 51 Tage | 28 + 4 + 25 = 57 Tage | 28 + 7 + 23 (26) = 58 (61) Tage |
| Bestimmung der Abwitterung | abgewittertes Material mit Sprühflasche abfiltrieren und trocknen | lose Partikel, gelöst mittels Ultraschallbad, abfiltriert und getrocknet | lose Partikel, gelöst mittels Ultraschallbad, abfiltriert und getrocknet | lose Partikel, gelöst mittels Bürste mit harten Kunststoffborsten |
| Grenzwerte Abwitterung: – mittlerer Wert nach – Einzelwert nach – zusätzliches Kriterium | 56 FTW: ≤ 1,0 kg/m ² | 28 FTW: ≤ 1,5 kg/m ² | 50 FTW < 0,15 cm ³ /cm ² Spaltzugfestigkeitsabfall < 25 % | 56 FTW ≤ 1,0 kg/m ² 56 FTW ≤ 1,5 kg/m ² (28 Zyklen ≤ 0,5 kg/m ² ; Masseverlustrate m ₅₆ /m ₂₈ ≤ 2) ³⁾ |
| Bemerkung | | | | Nachweis des geforder- ten Temperaturverlaufs |

²⁾ Frost- und Tausalz-Wechsel

³⁾ Erlass des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit vom 04.12.2008

bei der Einwirkung der Lösung auf den Probekörper sind wiederum Unterschiede vorhanden. Bei dem Referenzprüfverfahren wird die Prüf­flüssigkeit auf den Probekörper aufgebracht. In anderen Prüf­vorschriften werden die Probekörper mit definiertem Abstand in die 3%ige Natriumchloridlösung eingetaucht.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Lage der Temperaturmessfühler. In der Europäischen Norm erfolgt die Temperatursteuerung für die Zyklen in der Prüf­flüssigkeit auf der Oberfläche des geschnittenen Würfels. Beim CDF-Verfahren befindet sich der Referenzpunkt unter der Mitte des mittleren Behälters der Truhe. In der Prüf­richtlinie des Freistaats Sachsen wird der Temperaturmessfühler mittig im Probekörper einbetoniert. Um jedoch auf die geforderte Normtemperatur zu kommen, muss die Leistung des Prüfgeräts sehr groß sein, um innerhalb von 4 (vier!!!) Stunden das Innere des Probekörpers auf die geforderte Temperatur von -20 °C abzukühlen. Eine Vergleichbarkeit mit den anderen

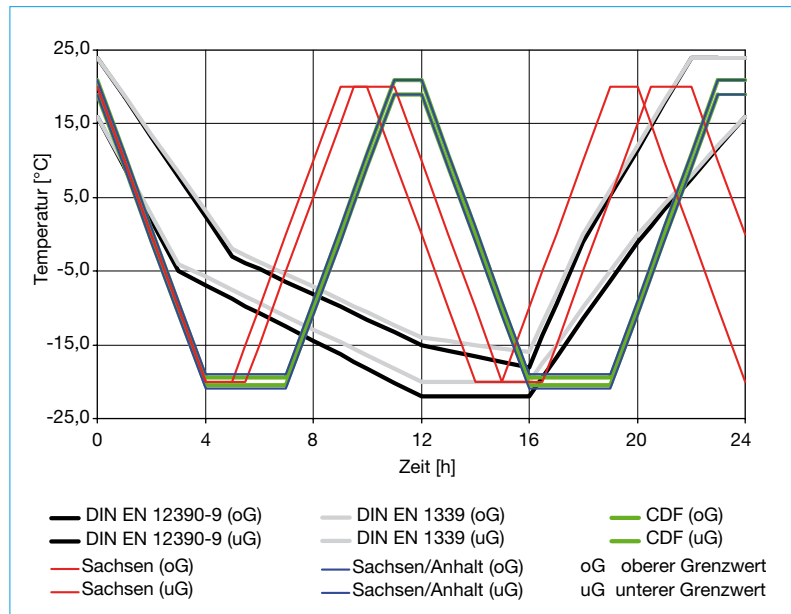


Bild 1: Frost-Tausalz-Widerstand, Temperaturzyklen

Verfahren ist nicht gegeben und die Frage bleibt, wie praxisbezogen die Prüfverfahren für die vorhandenen Bauteile sind. Bei dem Plattenprüfverfahren darf die Lufttemperatur nie unter -27 °C fallen.

Bei der Bestimmung der Abwitterungsrate wird nach dem Referenz-

verfahren das von der Oberfläche abgewitterte Material in einem Behälter aufgefangen. Die Oberfläche des Probekörpers ist mit einer Sprühflasche zu spülen und anschließend abzubürsten: „Bürste, mit kurzen (ungefähr 20 mm langen) steifen Borsten zum Abbürsten des abgewitterten Materials.“ [1] „Der Behäl-

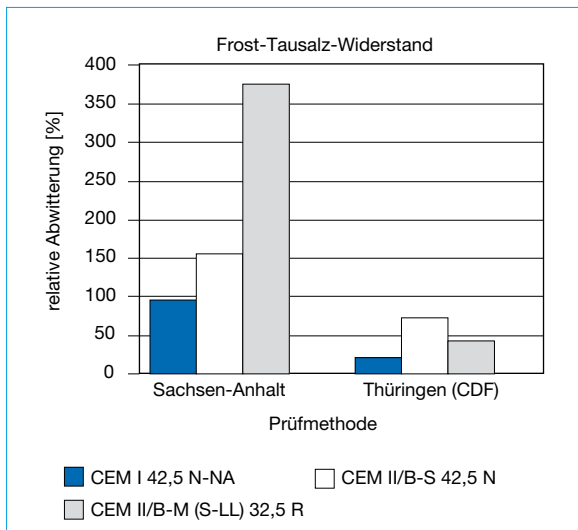


Bild 2: Relative Abwitterungen in Abhängigkeit von Prüfverfahren und Zementart (Sachsen-Anhalt und Freistaat Thüringen)

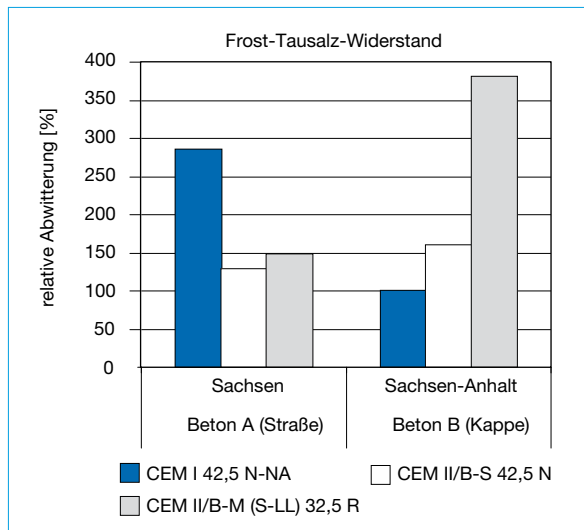


Bild 3: Relative Abwitterungen in Abhängigkeit vom Prüfverfahren und Zementart (Freistaat Sachsen und Sachsen-Anhalt)

Tafel 3: Vergleich der Abwitterung eines Betons, geprüft nach CDF-Verfahren (praktiziertes Regelwerk im Freistaat Thüringen) und Prüfrichtlinie Freistaat Sachsen

| | CDF-Verfahren Freistaat Thüringen | Prüfrichtlinie Freistaat Sachsen |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| nach 12 FTW | 0,160 kg/m ² | 0,521 kg/m ² |
| nach 28 FTW | 0,266 kg/m ² | 0,795 kg/m ² |
| nach 56 FTW | | 1,240 kg/m ² |
| Beurteilungskriterium: mittlere Abwitterung | ≤ 1,5 kg/m ² | ≤ 1,0 kg/m ² |

ter mit dem abgewitterten Material und der Filter, sofern verwendet, sind bei (110 ± 10) °C bis zur Massenkonstanz zu trocknen und auf 0,1 g zu wägen.“ [1]

Das Ultraschallbad findet Verwendung beim CDF-Verfahren und in der Prüfvorschrift des Bundeslands Sachsen-Anhalt. Mittels Bürste, mit harten Kunststoffborsten, werden die losen Teile der Probekörper gemäß der Prüfrichtlinie des Freistaats Sachsen manuell entfernt. Die unmittelbare Beanspruchung der Prüffläche wird in diesem Zusammenhang nicht geregelt.

Bei der Bewertung der Abwitterung liegen die mittleren Grenzwerte zwischen 1,0 kg/m² und 1,5 kg/m² in

Abhängigkeit von den unterschiedlichen Prüfverfahren.

Demgegenüber wird in Sachsen-Anhalt als Abnahmekriterium der Abfall der Spaltzugfestigkeit und der Einzelwert des Volumenverlustes (< 0,15 cm³/cm²) zur Beurteilung herangezogen. In der Einleitung der Europäischen Norm DIN CEN/TS 12390-9 heißt es weiter: „Um Grenzwerte anwenden zu können, ist es erforderlich, die Korrelation zwischen den Ergebnissen der Laborprüfungen und dem Verhalten der Betone in der Praxis zu ermitteln. Auf Grund der verschiedenen Einwirkungsarten von Frost-Tau-Wechseln müsste diese Korrelation unter Berücksichtigung der örtlichen Bedingungen festgestellt werden.“ [1]

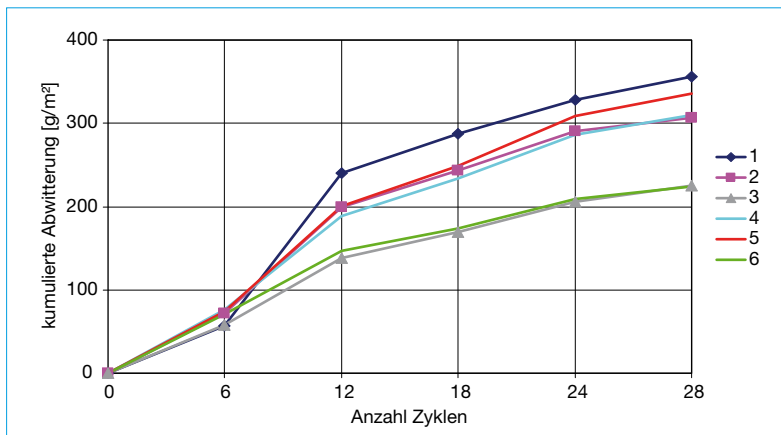


Bild 4: Ermittelte Abwitterung an sechs Probekörpern mit dem CDF-Verfahren bei einem Kappenbeton mit CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ (bei identischen Lagerungsbedingungen)

3 Interpretation der Prüfergebnisse

Zweifellos werden Betone unserer Klimazone in der Praxis nicht derartigen Extrembedingungen unterworfen, wie in vorgenannten Prüfrichtlinien gefordert, aber für die Abschätzung der langfristigen Beständigkeit sind Schnellversuche sicherlich hilfreich. Die Ergebnisse führten bei der Beurteilung der Ausgangsstoffe tatsächlich zu widersprüchlichen Aussagen. Die in Bild 2 verglichenen Betone unterschieden sich bezüglich der Frischbetonkennwerte nur unwesentlich, eine Beurteilung des unmittelbaren Einflusses der Zementart war jedoch nicht möglich.

Ähnlich stellte sich das Problem in Bild 3 dar: Die Betonzusammensetzung, die in Sachsen-Anhalt die geringste Abwitterung aufwies, wäre gemäß Laborbewertung die schlechteste sächsische Betonanwendung. Warum differieren die Prüfergebnisse so eklatant? Sind es nur die Unterschiede in den Prüfverfahren?

Der untersuchte thüringer Beton aus Tafel 3 hätte es schwer als Exportschlager ins benachbarte sächsische Vogtland.

Selbst bei dem im Labor hergestellten Beton der Expositionsklasse XF4 (eine Betonzusammensetzung für beide Prüfverfahren) zeigten sich bei der Prüfung im gleichen Labor infolge der verschiedenen Prüfverfahren unterschiedliche Resultate, obwohl die zugehörigen Probekörper auch bei identischen Bedingungen gelagert wurden. Diese Betonzusammensetzung dürfte demzufolge nur in Thüringen angewendet werden.

Generell sollten aber auch die verfahrensabhängigen Prüfstreuungen bei der Beurteilung berücksichtigt werden. In Bild 4 wurden die sechs

Prüfkörper des gleichen Kappenbetons einer CDF-Prüfung verglichen. Jedes Ergebnis dieser Prüfkörper lag deutlich unter dem zulässigen Grenzwert von 1.500 g/m^2 . Es bleibt die Frage, warum die Prüfkörper 1 und 3 so unterschiedliche Abwitterungsraten aufweisen.

Die Differenzen von ca. 130 g/m^2 zwischen den höchsten und niedrigsten Werten können sich zum Beispiel aufgrund zufälliger Anordnungen frostempfindlicher Gesteinskörner ergeben, siehe Bild 5.



Bild 5: Abgewitterte Prüflfläche (CDF-Verfahren)

Der Einfluss der Gesteinskörnung auf die Ergebnisse kann unter Umständen bemerkenswert sein. Die Betone in Bild 6 unterschieden sich bezüglich der Zusammensetzung nur in der verwendeten Gesteinskörnung, die Ergebnisse hingegen weichen massiv voneinander ab.

4 Übertragbarkeit in die Praxis

Die Lagerung (siehe Bild 7) der Prüfkörper auf der Baustelle verdient größere Beachtung. Nach jeder Herstellung von Prüfkörpern ist die Normlagerung in einem Temperaturbereich von $(20 \pm 2) \text{ °C}$ [4] anzustreben. Das gilt auch und erst recht im

Vorfeld der hier verglichenen unterschiedlichen Prüfverfahren.

In der Praxis müssen die beanspruchten Betonbauteile dauerhaft sein. Die besten Werte in der Schnellprüfung von Probekörpern sind keine Garantie für die Dauerhaftigkeit des kompletten Bauwerkes, wenn entscheidendes und jahrzehntelanges praxisbewährtes Wissen nicht konsequent angewendet wird.

Die Nachbehandlungsmaßnahmen (z.B. Bild 8) sollen unter anderem dem Schutz des frischen Betons gegen Austrocknung dienen.

Bild 9 zeigt eindrucksvoll, dass bei sommerlichen Bedingungen Ver-

dunstungsraten von ca. $1,8 \text{ l/m}^2$ je Stunde erwartet werden können. Damit wäre die Betonrandzone bezüglich der Dauerhaftigkeit stark geschwächt.

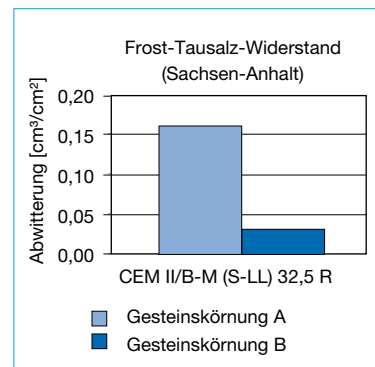


Bild 6: Einfluss der Gesteinskörnung auf den Frost-Tausalz-Widerstand



Bild 7: Lagerung von Prüfkörpern auf der Baustelle



Bild 8: Nicht fachgerechte Nachbehandlung einer Brückenkappe

