

TUM - Centrum Baustoffe und Materialprüfung  
Baumbachstraße 7 · D-81245 München

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)  
im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.  
Burggrafenstr. 6

10787 Berlin Tiergarten

Universitäts- Professoren  
Dr.-Ing. C. Gehlen  
Dr.-Ing. D. Heinz

Baumbachstraße 7  
D-81245 München  
Tel. +49 (0) 89-289-2 70 61  
Fax +49 (0) 89-289-2 70 64  
cbm@cbm.bv.tum.de

FG Betontechnologie

DS/Sp

München, den 04.06.09

## **KURZBERICHT**

**Nr.: F 2031/04**

**Thema:** Einordnung von Bauteilen in die  
Expositionsklassen XF 2 und XF 4  
(V 435)

**Auftraggeber:** Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)  
im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. P. Schießl

**Sachbearbeiter:** Dipl.-Ing. D. Strehlein  
Dr.-Ing. A. Spengler

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Eine frost-tausalzbeständige Betonzusammensetzung ist die erste Voraussetzung hinsichtlich der dauerhaft zu gewährleistenden Gebrauchseigenschaften von Betonbauteilen in Frost- und Tausalzexponierter Umgebung. Hierzu sind in DIN 1045-2:2001 [1] Expositionsklassen definiert, die, je nach Schärfe des Angriffs, die Betonzusammensetzung nach dem deskriptiven Konzept regeln.

Bei der Betonzusammensetzung für die Expositionsklasse XF 4 muss zwingend ein Beton mit Mikroluftporen hergestellt werden. Dagegen gibt es für die Zusammensetzung eines Betons der Expositionsklasse XF 2 (z.B. Beton im Sprühnebelbereich) die Möglichkeit, Beton auch ohne Luftporen bzw. bei Verwendung von Luftporenbildner mit einem höheren Wassergehalt herzustellen.

Ergänzend zu DIN 1045 erschienen im Rahmen der Hefte des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton die Erläuterungen zu dieser Norm (Heft 525 [2] bzw. Heft 526 [3]), in denen Grenzfälle erwähnt und getrennt geregelt werden. Nach diesen Erläuterungen können bedachte Frost-Tausalz belastete Bauteile wie Parkdecks „in der Regel“ der Expositionsklasse XF 2 zugeordnet werden, so dass eine wirtschaftliche Ausführung als Beton ohne Mikroluftporen möglich ist.

Inwieweit diese Flächen tatsächlich der Expositionsklasse XF 2 zugerechnet werden können, ist allerdings nicht geklärt. Mit klaren Vorgaben an das zu erwartende Temperaturumfeld und die Feuchtebedingungen könnten die unterschiedlichen Bereiche derartiger Bauwerke klar abgegrenzt und den entsprechenden Expositionsklassen zugeordnet werden. Hierdurch wird für alle an der Planung und Ausführung Beteiligten die Einteilung transparenter und nachvollziehbar.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die Grundlage der Regelung nach DIN 1045 zu überprüfen und damit die Unsicherheiten, die aus den Erläuterungen zu dieser Norm kommen können, zu beseitigen.

## 2 Untersuchungen

### 2.1 Überblick

Für die Untersuchungen wurden zwei Parkhäuser ausgewählt, die in die Beschreibung des Heftes 526 des DAfStb fallen. Beide Parkhäuser wurden nach den zu erwartenden Expositionbelastungen in unterschiedliche Bereiche eingeteilt. Die Einteilung der Parkdecks erfolgte zunächst in Bereiche mit niedrigem bzw. hohem Feuchte- bzw. Tausalzaufkommen (wenig bzw. stark frequentierte Bereiche des Parkhauses, Parkplatz bzw. Fahrspur). Des Weiteren wurden Bereiche nach den zu erwartenden auftretenden Mikroklimata (Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, Temperaturunterschiede Max/Min) unterschieden.

In die einzelnen Bauteile wurden Multi-Ring-Elektroden einbetoniert, anhand derer in regelmäßigen Abständen der tiefenabhängige Widerstand bestimmt wurde. Hieraus konnte letztlich eine Aussage über den Feuchtegradienten innerhalb des Bauteils selbst sowie innerhalb des gesamten Bauwerks erfolgen. Aus den Betonen beider Parkhäuser wurden Probekörper zur Bestimmung der wesentlichen betontechnologischen Kennwerte hergestellt.

Anhand der Ergebnisse wurden nach Abschluss aller Bauwerksuntersuchungen die vorher eingeteilten Bereiche der untersuchten Bauwerke hinsichtlich der zu erwartenden Belastung bewertet. Zusätzlich wurden aus den entsprechenden Bereichen nach jeweils einem Winter Chloridprofile entnommen.

## 2.2 Parkhäuser

Bei Parkhaus A handelt es sich um ein Parkhaus in einem Wohngebiet. Die ca. 500 verfügbaren Stellplätze wurden an Bewohner der umgebenden Wohnhäuser vermietet. Dieser Umstand gewährleistet, dass bei voller Auslastung alle Parkplätze annähernd gleich frequentiert werden. Das Parkhaus A wurde in offener Stahlbeton-Skelettbauweise mit einem Erdgeschoß und fünf Obergeschoßen erstellt. Die an der Süd- und Westseite des Parkhauses angebrachte Brüstung wurde aus einem Stahlgitter gefertigt, so dass die Geschoßdecken in diesen Randbereichen den Witterungseinflüssen (insbesondere Regen Schnee, Wind, Sonne) nahezu ungehindert ausgesetzt sind. Der Beton war kein LP-Beton. Die Oberfläche wurde beschichtet. Um das Feuchteprofil bestimmen zu können, wurde die Beschichtung in den Messbereichen mechanisch entfernt.

Parkhaus B ist an ein großes Einkaufszentrum angeschlossen und umfasst insgesamt ca. 1.800 Stellplätze auf drei Ebenen. Es wurde in Stahlbeton-Skelettbauweise ausgeführt, an der Nordost- und der Nordwest-Seite schützen vorgehängte Glaselemente das ansonsten offene Parkhaus vor Niederschlag und Wind. Der Beton war ein LP-Beton und die Betonoberflächen im Bauwerk wurden beschichtet. Die Beschichtung wurde in den Messbereichen mechanisch entfernt.

## 2.3 Bestimmung des Elektrolytwiderstands mittels Multi-Ring-Elektroden

Mit Hilfe der Multi-Ring-Elektrode wurde der tiefenabhängige Elektrolytwiderstand des Betons bestimmt. Die eingesetzten Multi-Ring-Elektroden bestanden aus acht Edelstahlingen, die durch Zwischenringe aus Kunststoff in definiertem Abstand gehalten wurden (Bild 1). Die Dicke der Edelstahl- und Kunststoffringe betrug 2,5 mm bei einem Durchmesser von 20 mm.

Bei mineralischen Stoffen ist der Elektrolytwiderstand in erster Linie vom Feuchtegehalt des Stoffes abhängig. Neben dieser eigentlichen Zielmessgröße übt bei ansonsten gleichen Bedingungen die Umgebungstemperatur einen Einfluss auf den Elektrolytwiderstand des Betons aus: eine Abnahme der Betontemperatur verursacht bei gleichem

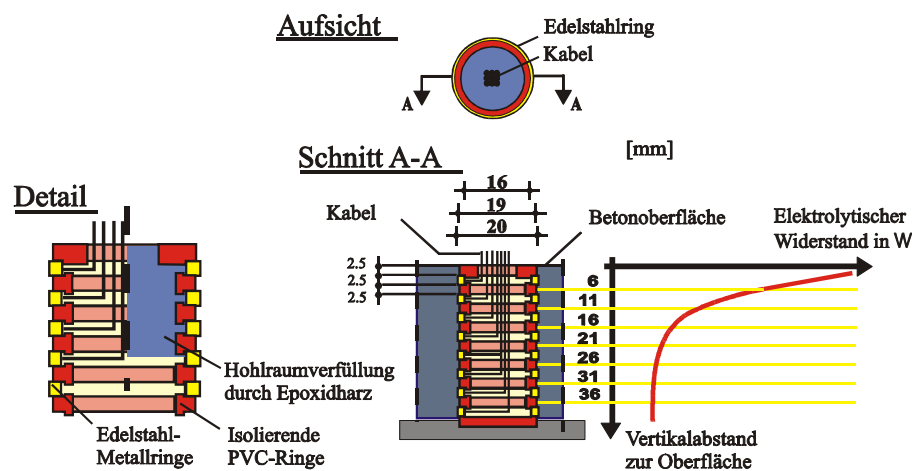


Bild 1: Aufbau einer Multi-Ring-Elektrode [4]

Wassergehalt des Betons einen Anstieg des Elektrolytwiderstandes. Die gemessenen Widerstände können mit dem Arrhenius Ansatz [5] bzgl. der Temperatur kompensiert werden.

## 2.4 Bestimmung der Korrelation zwischen Baustofffeuchte und Elektrolytwiderstand

Um die Multi-Ring-Elektroden in den Parkhäusern als Feuchtesensoren einsetzen zu können, muss die Relation zwischen dem Wassergehalt des Betons und dem gemessenen Elektrolytwiderstand ermittelt werden. Da verschiedene Betone bei gleichem Wassergehalt jedoch deutlich unterschiedliche Elektrolytwiderstände aufweisen können, muss eine Kalibrierung für jeden untersuchten Beton gesondert durchgeführt werden. Diese Kalibrierung erfolgte je Beton an sechs Betonzylindern ( $\varnothing = 100$  mm,  $h = 70$  mm) mit eingebauten Multi-

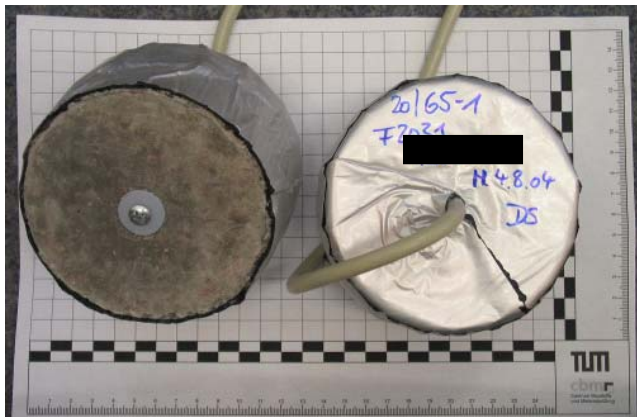


Bild 2: Probekörper für die Kalibrierung Baustofffeuchte – Elektrolytwiderstand

Ring-Elektroden. Die Probekörper wurden nach einem Tag ausgeschalt und bis zu einem Alter von 7 Tagen unter Wasser gelagert. Anschließend wurden sie an der Mantelfläche und der Unterseite mit einer aluminiumkaschierten Butylkautschukfolie beklebt, um die eindimensionale Austrocknung des Betons im Bauwerk zu simulieren (siehe Bild 2).

Im Alter von 7 Tagen wurden je 2 Probekörper eines Betons unter Wasser, im Klima 20 °C/ 85 %r.F. sowie im Klima 20 °C/ 65 %r.F. gelagert. Die Nullmessung des Elektrolytwiderstands erfolgte unmittelbar vor der Lagerung im jeweils vorgesehenen Klima.

### 3 Exemplarische Darstellung eines untersuchten Bereiches

Exemplarisch wird die Auswertung eines Messbereiches gezeigt, der im Einfahrtsbereich des Parkhauses B lag und für die verkehrsbedingt eine hohe Belastung zu erwarten war. Der unterste Messbereich dieser Messstelle M 3-3 wies teilweise Elektrolytwiderstände unter 1100 Ω auf (Widerstand der unter Wasser gelagerten Kalibrierprobekörper), was auf ein unter atmosphärischen Bedingungen vollständig mit Wasser gefülltes Kapillarporensystem hinweist.

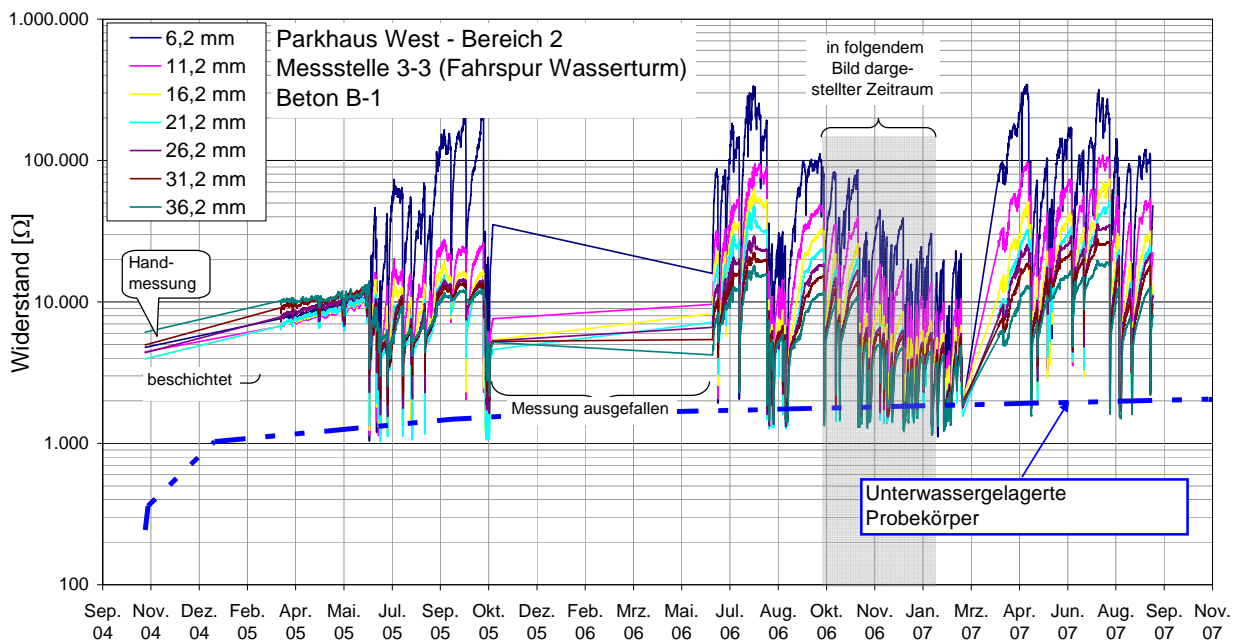


Bild 3: Parkhaus B, Elektrolytwiderstände der Messstelle M 3-3 (Lage: Fahrspur Wasserturm)

Der Schwankungsbereich der Elektrolytwiderstände innerhalb des Zeitraumes Okt. 06 bis Feb. 07

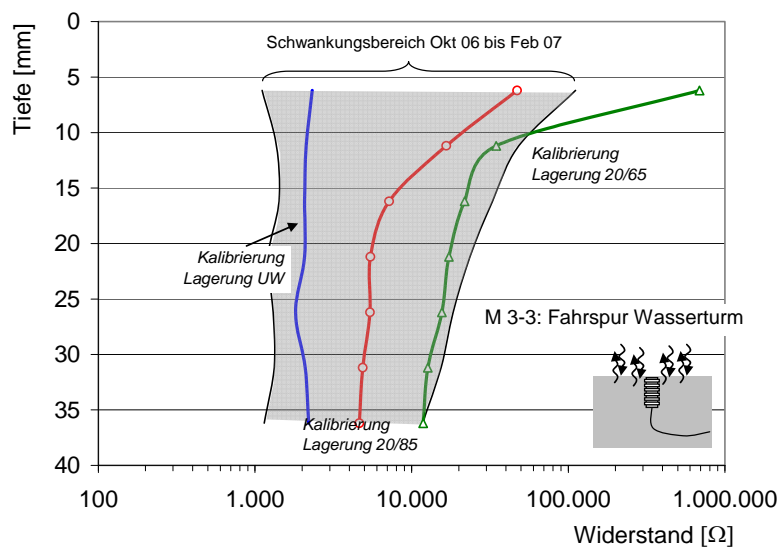


Bild 4: Parkhaus B, Schwankungsbreite der Elektrolytwiderstände im Zeitraum Oktober 06 bis Februar 07, Messstelle M 3-3 (Lage: Fahrspur Wasserturm)

07 zeigte, dass das Feuchteprofil zwar teilweise über dem der stets bei 20 °C/65 % r.F. gelagerten Kalibrierprobekörper lag, aber eben auch unter dem der stets unter Wasser gelagerten. Bei einem Frost-Tauwechsel können die Feuchtegehalte in diesen Bereichen zwar noch nicht zu Frostschäden führen, treten aber mehrere Frost-Tauwechsel in Folge auf, so kann durch die Wirkung der Mikroislinsepumpe bei einem Beton ohne künstlich eingeführte Luftporen der Wassergehalt im Porensystem schnell kritisch werden und zu einer Frostschädigung führen.

#### 4 Bewertung der Bauteile hinsichtlich einer Einteilung in die Expositionsklasse XF2 bzw. XF4

Die Einfahrtsbereiche der Parkhäuser wiesen innerhalb des untersuchten Zeitraumes erwartungsgemäß eine höhere Feuchtebelastung auf als das Bauteilinnere. Die Bereiche, die der Witterung ausgesetzt waren, wiesen ebenfalls eine hohe Feuchtebelastung auf. Da es bei großen horizontalen Flächen seitens der Bauausführung zu unplanmäßigen Vertiefungen kommen kann, bei denen das Wasser nicht abläuft, erscheint es nicht sinnvoll, insgesamt dem Bauteil eine mäßige Wassersättigung zuzuordnen, sondern immer eine hohe.

Die Auswertung der Temperaturdifferenzen anhand von Klimadaten des deutschen Wetteramtes und Temperaturaufzeichnungen in den Parkhäusern zeigten, dass im Bauteilinneren auch mit Frost-Tauwechseln zu rechnen ist. In überdachten Parkflächen, zu denen die Außenluft ständig und ungehindert Zugang hat, muss auf der sicheren Seite liegend mit den tatsächlich vorhandenen Außenlufttemperaturen gerechnet werden. Schließlich zeigte der eingebaute Beton im Parkhaus A („XF2-Beton“:  $w/z = 0,5$ , Zementgehalt 320 kg/m<sup>3</sup>, keine künstlichen Luftporen) an einigen Einbaustellen starke Frostschäden. Bei wassergesättigten Betonen muss also hier die Gefahr einer Schädigung durch Frost immer berücksichtigt werden.

Es zeigte sich, dass sich offensichtlich bei überdachten Flächen durch das fehlende Auswaschen durch Regen Tausalze im Porengefüge des Betons anreichern. Im gesamten Parkhaus A müssen die Chloridgehalte in der Tiefe von 10-30 mm bereits als kritisch eingestuft werden. Im Prinzip muss das ganze Bauwerk bei der Berücksichtigung der Exposition verkehrsbedingte Tausalzbelastung in eine „hohe Belastungszone“ eingeteilt werden.

Insgesamt zeigten die Untersuchungen, dass horizontale Bauteile (z.B. Parkdecks), die zwar überdacht sind, zu denen die Außenluft aber ständig und ungehindert Zugang hat und in die zusätzlich Taumittel durch Autos eingebracht werden, genau wie „überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von Taumittel behandelten Verkehrsflächen“ in die Expositionsklasse XF 4 und XD 3 eingeteilt werden sollen.

## 5 Literatur

- [1] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, Ausgabe Juli 2001.
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.), Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003 (DAfStb-Heft 525).
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.), Heft 526: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003 (DAfStb-Heft 526).
- [4] Schießl, P.; Souchon, T.; Breit, W.: Berechnungsmodell zur Bestimmung von Feuchtigkeitsgehalten aus Widerstandswerten der Multi-Ring-Elektrode ermittelt in der Betonrandzone mittels Einbausensoren. Abschlussbericht F 538 ibac 1997.
- [5] Ostermiski, K., Schießl, P., Volkwein, A., Mayer, T.: Modellierung von Bewehrungskorrosion - Einfluss von Betonparametern, Feuchtigkeit und Temperatur auf den Elektrolytwiderstand von Beton, Proceedings: ibausil 2006, Weimar.