

Bewertung und Optimierung der Untersuchungsmethodik

## Bestimmung der korrosionsauslösenden Chloridgehalte zur Bewertung der chloridinduzierten Stahlkorrosion von Stahlbetonbauteilen

Karl-Uwe Voß, Neuwied

Stahlbewehrung ist im alkalischen Zementsteinmilieu des Betons gegenüber Korrosion geschützt. Der Grund dafür liegt darin, dass sich bei pH-Werten  $> 10$  eine für Sauerstoff und Wasser nahezu undurchlässige Passivierungsschicht auf der Oberfläche des Bewehrungsstahls bildet. Die Passivierung der Bewehrung kann durch veränderte Bedingungen im Umfeld der Bewehrung, z.B. durch die Veränderung des pH-Werts aufgrund der Carbonatisierung des Betons oder durch die Einwirkung von Chloriden (z.B. in Form von Tausalzen), aufgehoben werden. Treten dann Wasser und Sauerstoff hinzu, „rostet“ der Bewehrungsstahl, wobei es in der Folge zu einer Volumenvergrößerung und damit zur Bildung von Betonabplatzungen oberhalb des Bewehrungsstahls kommt (Bild 1). In dem Beitrag wird auf die Methoden zur Bewertung des chloridinduzierten Korrosionspotenzials sowie auf die Optimierung der Untersuchungsmethodik eingegangen.

### 1 Chloridinduzierte Stahlkorrosion

Während es sich bei der carbonatisierungsinduzierten Stahlkorrosion um ein flächig auftretendes Phänomen handelt, läuft die chloridinduzierte Stahlkorrosion, wie die Bilder 2 und 3 zeigen, häufig in lokal begrenzten Bereichen ab (so genannte Lochfraßkorrosion).

Die chloridinduzierte Stahlkorrosion läuft nur dann in relevanter Geschwindigkeit ab, wenn der kritische korrosionsauslösende Chloridgehalt auf Höhe des Bewehrungsstahls überschritten wird und die

weiteren Voraussetzungen für die Stahlkorrosion (z.B. Zutritt von Feuchtigkeit und Sauerstoff) gegeben sind.

Zur Bestimmung der Gehalte der in den Beton eingedrungenen Chloride sind Analysenproben (Bohrmehlproben oder Bohrkernscheiben) in unterschiedlichen Tiefen zu entnehmen. Von entscheidender Bedeutung ist dabei, dass die entnommenen Analysenproben „repräsentativ für das zu beurteilende Bauteil“ sind. Weiterhin sind die Anwendungsgrenzen der jeweiligen Probenahmeverfahren (Anzahl der Teilproben zur Her-

stellung einer Mischprobe, Mahlen der Proben, Entnahmetiefen) im Rahmen der Probenahme zu beachten [13, 14].

#### 1.1 Wasserlösliche Chloridgehalte

Neben den unterschiedlichen Probenahmeverfahren haben auch die zur Anwendung kommenden Analyseverfahren einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse. Normativ ist nur die Anwendung des Verfahrens nach Volhard oder die potenziometrische Titration für die Bestimmung der Chloridgehalte im



Bild 1: Korrosion des Bewehrungsstahls

#### Der Autor:

**Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß** studierte Chemie an der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster. Nach der Promotion war er beim ZEMLABOR 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“.



Bild 2: Erscheinungsbild der Lochfraßkorrosion



Bild 3: Erscheinungsbild der Lochfraßkorrosion



Beton zulässig, bei denen der Beton mittels Salpetersäure vollständig aufgeschlossen wird [7].

Im Gegensatz zu den oben erwähnten Verfahren kommen in der Praxis nicht selten Schnellprüfverfahren (Nachweis mittels UV-Spektroskopie oder Ionenchromatographie) zur Anwendung, bei denen nicht die Gesamtchloridgehalte sondern „nur“ die wasserlöslichen Chloridgehalte bestimmt werden. Diese Verfahren werden aufgrund der geringeren Prüfkosten und der deutlich größeren Prüfgeschwindigkeit häufig in Verbindung mit dem Verfahren der Bohrmehlentnahme (Bild 4) bei Objekten wie Parkhäusern oder Tunnelbauwerken eingesetzt.

Leider liegen bei den ausschreibenden Stellen im Regelfall keine ausreichenden Kenntnisse über die mit der Anwendung dieser Schnellprüfverfahren in Verbindung stehenden Einschränkungen bei der Bewertbarkeit der Ergebnisse der ermittelten Chloridgehalte vor. Dies wird besonders beim Studium von Ausschreibungstexten deutlich, in denen die Verfahren zur Vorbereitung der Proben i.d.R. nicht genau beschrieben werden. Gerade bei der Bestimmung der wasserlöslichen Chloridgehalte wirken sich die verwendeten Verfahren der Probenvorbereitung (Mahlen, Wassermenge und Kontaktzeit mit dem Wasser) aber erheblich auf das Prüfergebnis aus.

Ohne konkrete Festlegung der Probenvorbereitungsverfahren werden sich gewinnorientierte Prüfstellen mit hoher Wahrscheinlichkeit für das einfachste und schnellste Vorbereitungsverfahren entscheiden.

Bei dem einfachsten und schnellsten Vorbereitungsverfahren werden die Bohrmehlproben ohne weiteres Mahlen in einer Spritze mit dem Analysenwasser in Kontakt gebracht und die resultierende Prüflösung nach kurzer Kontaktzeit (häufig unter einer Minute) zur Messung verwendet. Auch ist das Verhältnis Prüfgutmenge zu Wassermenge bei diesem Verfahren nicht definiert. Die Rückfindungsrate der Chloride ist hierbei zum einen gering und schwankt zum anderen stark, sodass die tatsächlich vorliegenden Chloridgehalte bei diesem Verfahren

auf Basis der ermittelten Untersuchungsergebnisse i.d.R. deutlich unterschätzt werden (s. Abschnitt 1.3).

Etwas bessere Ergebnisse werden erzielt, wenn das Bohrmehl vor der Untersuchung gemahlen wird, da der wasserlösliche Anteil in diesem Fall steigt. Allerdings sind die Wiederfindungsraten auch bei diesem Verfahren deutlich geringer als bei dem sauren Aufschluss (s. Abschnitt 1.3).

Die besten (genauesten) Ergebnisse werden mit dem Schnellprüfverfahren erzielt, bei dem das Bohrmehl gemahlen und die Analysenprobe mindestens 24 Stunden im Verhältnis 1:10 mit Wasser geschüttelt wird. Allerdings werden auch bei diesem Verfahren noch geringere Chloridgehalte als an dem säurelöslichen Aufschluss gefunden (s. Abschnitt 1.3).

Ein Planer, der kein konkretes Verfahren zur Probenvorbereitung im Leistungsverzeichnis definiert (Mahlen der Probe, Verhältnis zwischen Prüfgut- und Wassermenge sowie Kontaktzeit mit dem Wasser), muss demnach damit rechnen, dass die Prüfstelle das einfachste und kostengünstigste, aber auch das ungenaueste Verfahren bestellungskonform anwendet. Was dies für die Bewertung der Ergebnisse konkret bedeutet, wird nachfolgend diskutiert.

## 1.2 Bewertung der ermittelten Chloridgehalte

Bei den in den einschlägigen Technischen Regelwerken, wie z.B. der Instandsetzungsrichtlinie, genannten Richtwerten handelt es sich um langjährige Erfahrungswerte, die auf Basis der säurelöslichen (und nicht der wasserlöslichen) Chloridgehalte festgelegt wurden.

Anmerkung: Zur konkreten Beurteilung der kritischen, korrosionsauslösenden Chloridgehalte müsste das Wasser aus den Kapillarporen der Proben ausgepresst und der Chloridgehalt der Kapillarporenflüssigkeit ermittelt werden. Hierbei handelt es sich aber um ein Verfahren, das aus Kostengründen in der Praxis nicht anwendbar ist.

Aufgrund des hohen Aufwands des o.g. Verfahrens wurden die Richtwerte für die Bewertung der Chloridgehalte auf Basis langjähriger Erfahrungen mit den säurelöslichen Chloridgehalten festgelegt [9]. Nach [9] dürfen im Beton salpetersäurelösliche Chloridgehalte in einer Größenordnung von 0,03 M.-% bezogen auf den Beton enthalten sein.

Anmerkung: Auch bei diesem Richtwert handelt es sich nur um einen groben Orientierungswert. Bei der sachgerechten Bewertung müssten die ermittelten Chloridgehalte

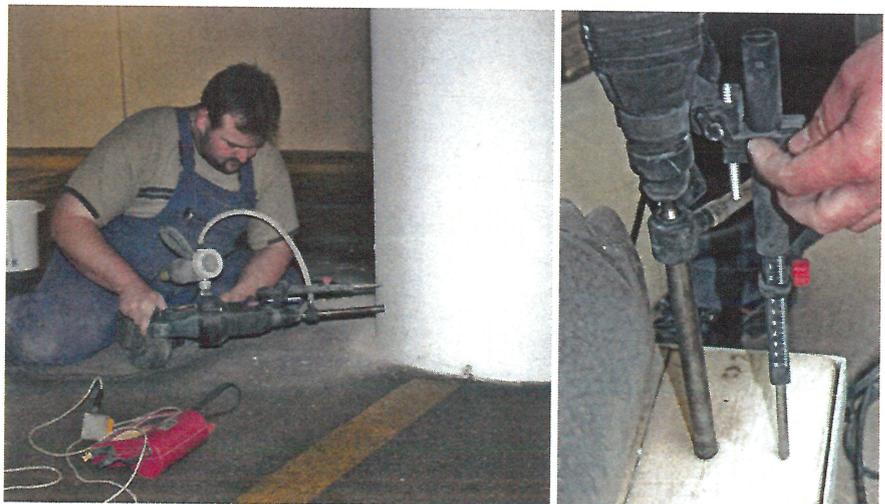


Bild 4: Bohrmehlentnahme

# Chloridinduzierte Stahlkorrosion

auf die C<sub>3</sub>A-Anteile des Zementsteins bezogen werden.

Da die Instandsetzungsrichtlinie bei dem o.g. Richtwert von einem sehr geringen Zementgehalt ausgeht, liegt diese Bewertung sehr auf der sicheren Seite. Zur genaueren Bewertung der Chloridgehalte von Bauwerksproben ist in der Instandsetzungsrichtlinie deshalb zusätzlich ein zementbezogener Richtwert von 0,5 M.-% genannt.

## 1.3 Wiederfindungsrate wasserlöslicher Chloridgehalte

Wie in Abschnitt 1.1 ausgeführt wurde, liegt die Wiederfindungsrate der Chloride bei der Prüfung der wasserlöslichen Anteile im Regelfall deutlich unterhalb der Wiederfindungsrate für die säurelöslichen Anteile. Demnach lassen sich so ermittelte wasserlösliche Chloridgehalte nicht ohne Weiteres mit den Richtwerten vergleichen, die in den einschlägigen Technischen Regelwerken, wie z.B. der Instandsetzungsrichtlinie benannt sind.

Einheitliche Faktoren zur Umrechnung von wasserlöslichen in säurelösliche Chloridgehalte sind nicht bekannt, sodass eine sachgerechte Bewertung von wasserlöslichen Chloridgehalten demnach nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Um einheitliche Umrechnungsfaktoren zwischen wasser- und säurelöslichen Chloridgehalten zu ermitteln, erfolgten in der MPVA Neuwied GmbH orientierende Vergleichsuntersuchungen mittels der Ionenchromatografie am wässrigen Auszug und der potenziometrischen Titration am salpetersauren Aufschluss (Tafel 1).

Die Ergebnisse aus der rechten Spalte dieser Tafel zeigen, dass mittels der ionenchromatografischen Bestimmung der wasserlöslichen Chloride erwartungsgemäß nur geringere Chloridgehalte als am Säureaufschluss vorgefunden wurden. Die Wiederfindungsrate der wasserlöslichen Chloride variierte dabei stark, wobei kein einheitlicher Zusammenhang zwischen den Vorbe-

reitungsverfahren und den Wiederfindungsraten vorgefunden wurde.

## 2 Potenzialfeldmessung

Wie in Abschnitt 1 ausgeführt wurde, wird aus Kosten- und Zeitgründen häufig die Bestimmung der wasserlöslichen Chloridgehalte ausgeschrieben und/oder beauftragt. Im Ergebnis resultieren ggf. deutliche Fehlbeurteilungen aufgrund eines zu gering abgeschätzten Chloridgehalts der Proben.

Aus Sicht der Sanierungsplanung erscheint es deutlich sinnvoller, anstelle einer großen Anzahl an wasserlöslichen Chloridgehalten eine geringere Menge an säurelöslichen Chloridgehalten zu untersuchen, dafür aber eine so genannte Potenzialfeldmessung vorzuschalten.

Anmerkung: Mittels der zerstörungsfreien Potenzialfeldmessung können im Objekt Teilflächen mit aktuell ablaufenden Korrosionsströmen lokalisiert werden.

Bei einer angepassten Prüfplanung würde sich der Ablauf dahingehend ändern, dass zu Beginn der Untersuchungen eine Potenzialfeldmessung erfolgt, um Bereiche zu lokalisieren, in denen aktuell eine Stahlkorrosion abläuft. Unter Berücksichtigung der hierbei erhaltenen Ergebnisse kann eine sachgerechte Prüfplanung erfolgen, bei der gezielt Stellen für die Entnahme der Chloridproben festgelegt werden.

Neben der Möglichkeit zur zielgerichteten Festlegung der Mess- und Untersuchungsstellen bietet die Potenzialfeldmessung den Vorteil, dass auf Basis der Ergebnisse dieser Voruntersuchungen zusätzlich Aussagen zu den Sanierungshöhen (bis zu welcher Höhe muss der Beton z.B. im Bereich von Stützen abgetragen werden) möglich sind. Die erforderliche Abtragtiefe muss weiterhin auf Basis der nachgeschalteten Chloridbeprobungen planerisch festgelegt werden. Ein typisches Ergebnis für die Untersuchung einer Tiefgarage unter Verwendung der Potenzialfeldmessung ist im Bild 6 exemplarisch dargestellt.

Wie diese Ergebnisse zeigen, lagen im oben dargestellten Objekt bevorzugt aktuell ablaufende Korrosionsströme im Bereich von Unterzügen (siehe rote und pinkfarbene Teilflächen) vor.

Wie bei fast allen modernen Prüfverfahren ist aber auch bei diesem Verfahren zu beachten, dass die Untersuchungsmethodik Schwachstellen und Potenzial für Fehlbeurteilungen enthält, auf die in [13, 14] bereits detailliert eingegangen wurde.

## 3 Zusammenfassung

Im Rahmen der Sanierungsplanung z.B. von Parkhäusern, Brücken oder Tunnelbauwerken ist der Bewertung der Risiken der chloridinduzierten Stahlkorrosion eine besondere Bedeutung beizumessen. Trotzdem entscheiden sich Planungsbüros und ausschreibende Stellen aus Kosten- und Zeitgründen häufig für die deutlich preisgünstigere Methode der Bestimmung der wasserlöslichen Chloridgehalte. Nicht allen Büros ist dabei bewusst, dass die bekannten Richt-

Tafel 1: Zusammenhang zwischen dem Vorbereitungsverfahren und den Wiederfindungsraten wasserlöslicher Chloride

|                          | Chloridgehalte [M.-%]       |                    |                   |                |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------|
|                          | Potenziometrische Titration | Ionenchromatograph |                   | Abweichung [%] |
|                          |                             | wässriger Auszug   | Verfahren         |                |
| 6-19/1298/14-S1.1        | 0,4213                      | 0,4052             | 24 h<br>Schütteln | -3,8           |
| 6-19/1298/14-W2.1        | 0,775                       | 0,3288             |                   | -12,9          |
| 6-19/1298/14-S1.2        | 0,2094                      | 0,2173             |                   | 3,8            |
| 6-19/1298/14-W2.2        | 0,1689                      | 0,1356             |                   | -19,7          |
| 6-19/1298/14-W2.3        | 0,0747                      | 0,0550             |                   | -26,4          |
| 6-19/1298/14-S1.3        | 0,0355                      | 0,0305             |                   | -14,1          |
| 6-19/1101/14-1.1         | 0,2087                      | 0,1434             | 24 h<br>Schütteln | -31,3          |
| 6-19/1101/14-2.8         | 0,1831                      | 0,1417             |                   | -22,6          |
| 6-19/1104/14-1.1-0,5-1,5 | 0,1003                      | 0,0706             | 24 h<br>Schütteln | -29,6          |
| 6-19/1104/14-1.1-1,5-2,5 | 0,0455                      | 0,0264             |                   | -42,0          |
| 6-19/1104/14-1.1-2,5-3,5 | 0,0197                      | 0,0106             |                   | -46,2          |
| 6-19/1104/14-1.2-0,5-1,5 | 0,079                       | 0,0507             |                   | -35,8          |
| 6-19/1104/14-1.2-1,5-2,5 | 0,0356                      | 0,0188             |                   | -47,2          |
| 6-19/1104/14-1.2-2,5-3,5 | 0,0160                      | 0,0072             |                   | -55,0          |
| 6-19/1104/14-1.3-0,5-1,5 | 0,8380                      | 0,0776             |                   | -90,7          |
| 6-19/1104/14-1.3-1,5-2,5 | 0,0260                      | 0,0148             |                   | -43,1          |
| 6-19/1104/14-1.3-2,5-3,5 | 0,0127                      | 0,0059             |                   | -53,5          |
| 6-19/1104/14-1.4-0,5-1,5 | 0,1517                      | 0,1098             |                   | -27,6          |
| 6-19/1104/14-1.4-1,5-2,5 | 0,1063                      | 0,0694             |                   | -34,7          |
| 6-19/1104/14-1.4-2,5-3,5 | 0,0302                      | 0,0189             |                   | -37,4          |
| 6-19/1104/14-1.5-0,5-1,5 | 0,1132                      | 0,0829             |                   | -26,8          |
| 6-19/1104/14-1.5-1,5-2,5 | 0,0525                      | 0,0339             |                   | -35,4          |
| 6-19/1104/14-1.5-2,5-3,5 | 0,0245                      | 0,0135             | -44,9             |                |

# Chloridinduzierte Stahlkorrosion



Bild 5: Vorgehensweise bei der Potenzialfeldmessung

werte (für säurelösliche Chloride z.B. aus der Instandsetzungsrichtlinie) nur sehr eingeschränkt zur Bewertung der wasserlöslichen Chloridgehalte heranzuziehen sind.

So haben diverse Vergleichsuntersuchungen gezeigt, dass die Wiederfindungsrate für die wasserlöslichen Chloride deutlich geringer als für die säurelöslichen Chloride ist.

Daneben hängt die Wiederfindungsrate gerade der wasserlöslichen Chloride sehr stark von der Probenvorbereitung (Körnigkeit des Prüfguts, Mahlen der Proben, Kontaktzeit mit dem Wasser sowie Mengenverhältnis zwischen Wasser und Bohrmehl) ab. Aufgrund der vielseitigen Einflüsse lassen sich ohne genaue Kenntnis der Eigenschaften des Bohrmehls (z.B. der Korngrößenverteilung) und der konkreten Probenvorbereitung auch keine einheitlichen Umrechnungsfaktoren zwischen den wasserlöslichen und den säurelöslichen Chloriden ableiten. Somit sind die wasserlöslichen Chloride nur sehr eingeschränkt zur Bewertung des chlo-

ridinduzierten Korrosionspotenzials zu verwenden. Konkrete Korrosionsbewertungen sind streng genommen nur auf Basis der säurelöslichen Chloride möglich.

Alternativ zur Untersuchung hunderter oder manchmal sogar tausender wasserlöslicher Chloridgehalte, wie dies bei Großobjekten durchaus häufiger der Fall ist, sollte eine Kombination aus einer vorge-schalteten Potenzialfeldmessung und der anschließenden Bestimmung der säurelöslichen Chloride erfolgen. So ist die Potenzialfeldmessung eine sehr gute Methode, um Teilflächen zu lokalisieren, in denen eine Instandsetzung aufgrund von Bewehrungsstahlkorrosion erforderlich ist.

Die Kombination der Potenzialfeldmessung mit der Bestimmung einer deutlich geringeren Prüfmenge an säurelöslichen Chloridgehalten liefert nicht nur deutlich mehr Informationen, sondern führt gerade bei großen Flächen, wie z.B. bei Parkhäusern oder Brücken, nicht selten sogar zu einer deutlichen Reduzierung der Prüfkosten. Dar-

über hinaus ist auf Basis einer sachgerechten Prüfplanung eine deutlich sichere Festlegung der Instandsetzungsbereiche (inklusive der abgeleiteten Abtragtiefe des Betons), möglich, sodass nicht nur die Prüfkosten sinken, sondern auch reduzierte Instandsetzungskosten resultieren können. Last but not least ist auf Basis dieser Untersuchungen eine sachgerechte Bewertung der vorliegenden Chloridgehalte möglich, da ein Verfahren gewählt wurde, das zu den in den Technischen Regelwerken genannten Grenzwerten passt.

## Literatur

- [1] DIN EN 206-1: 2001-07 Beton – Teil 1 „Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“
- [2] DIN EN 206-1: 2017-01 Beton – Teil 1 „Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“
- [3] DIN 1045-2: 2008-08 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1“
- [4] DIN EN 1992-1-1: 2011-01 + A1-Änderung: 2015-03 Eurocode 2: „Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für

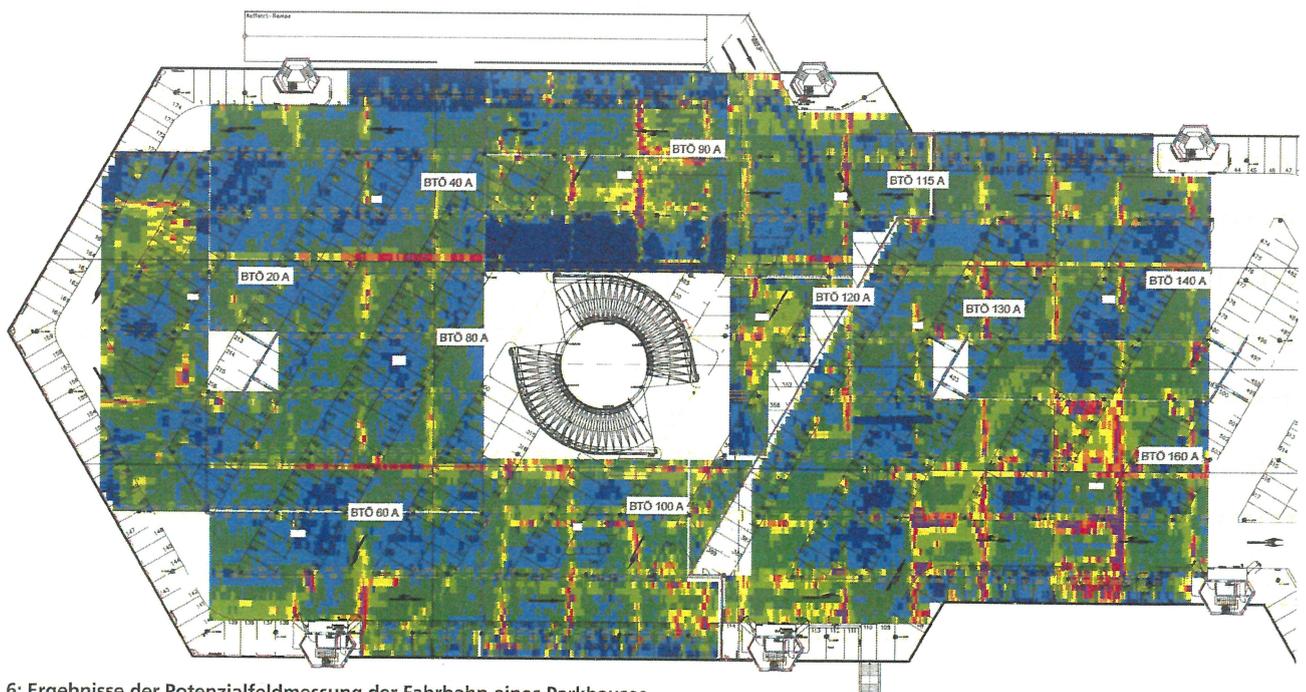
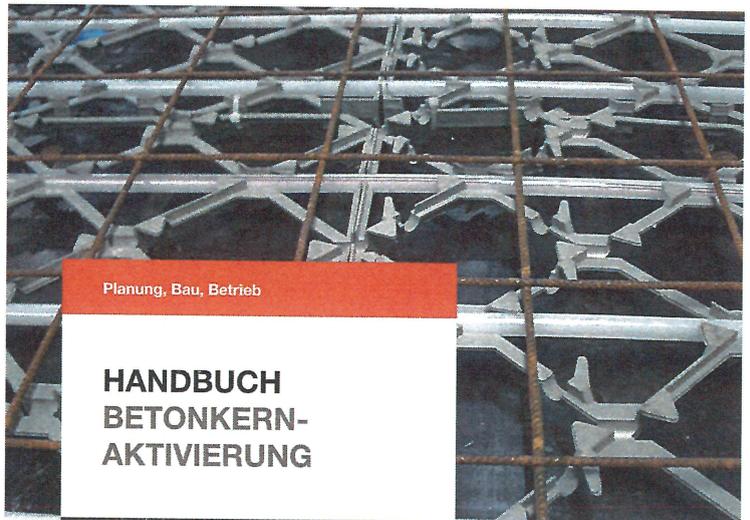


Bild 6: Ergebnisse der Potenzialfeldmessung der Fahrbahn eines Parkhauses

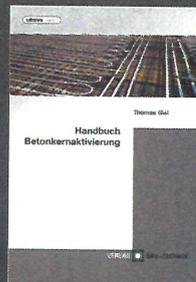
- den Hochbau"; Deutsche Fassung EN 1992-1-1: 2004 + AC:2010 + EN 1992-1-1: 2004/A1:2014
- [5] DIN EN 1992-1-1/NA: 2013-04 + A1-Änderung: 2015-12 „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [6] DIN EN 1504-10: 2017-12 „Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauteilen – Teil 10: Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Anwendung von Produkten und Systemen auf der Baustelle und Qualitätsüberwachung der Ausführung“
- [7] DIN EN 14 629:2007-06 „Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Bestimmung des Chloridgehaltes von Festbeton“
- [8] Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Heft 401, Berlin 1989
- [9] Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Heft 401, Berlin, Oktober 1989
- [10] Tritthart, J.; Gugmeyer, H.: Untersuchungen zu Korrosionsrisikos von Stahl in Beton. Baustoffe – Forschung, Anmerkung, Bewährung, Festschrift zum 60. Geburtstag von R. Springenschmid, Baustoffinstitut der TU München, München 1989
- [11] Breit, W.: Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt für Stahl – Sachstand (Teil 1). beton 48 (1998) H. 7, S. 442–449
- [12] Breit, W.: Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt für Stahl – Sachstand (Teil 2). beton 48 (1998) H. 8, S. 511–522
- [13] Voß, K.-U.: Anwendungsgrenzen der Bestandsuntersuchungen vor einer sachgerechten Instandsetzungsplanung; Teil 1. beton 62 (2012) H. 12, S. 470–474
- [14] Voß, K.-U.: Anwendungsgrenzen der Bestandsuntersuchungen vor einer sachgerechten Instandsetzungsplanung; Teil 2. beton 63 (2013) H. 1+2, S. 18–23
- [15] Van der Wegen, G.: Beton mit hohem Chlorideindringwiderstand. beton 68 (2018) H. 5, S. 166–171
- [16] Schiessl, P.; Raupach, M.: Chloridinduzierte Korrosion von Stahl in Beton. Beton-Information 28 (1988) H. 3+4, S. 33–45
- [17] Schöppel, K.: Aussagekraft von Chloridwerten aus Betonbauwerken hinsichtlich der Korrosionsgefährdung. Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010) H. 11, S. 703–713
- [18] Schöppel, K.; Dörner, II.; Letsch, R.: Nachweis freier Chlorionen auf Betonoberflächen mit dem UV-Verfahren. BFT International 54 (1988) H. 11, S. 80–85
- [19] Raupach, M.: Zur chloridinduzierten Makroelementkorrosion von Stahl in Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Heft 433, Berlin 1992
- [20] Arbeitskreis „Prüfverfahren Chlorideindringtiefe“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), Heft 401, Berlin 1989
- [21] Breit, W.: Kritischer Chloridgehalt – Untersuchungen an Stahl in chloridhaltigen alkalischen Lösungen. Materials and Corrosion – Werkstoffe und Korrosion (1998) H. 8, S. 539–550
- [22] Täffe, A.; Wilsch, G.; Schaurich, D.: Zuverlässige Bestimmung von Chloridgehalten bei der Instandsetzung tausalzgeschädigter Bauwerke. Tagungsband 4. Kolloquium Verkehrsbauten – Schwerpunkt Parkhäuser, Technische Akademie Esslingen (TAE), Esslingen 2010, S. 405–412
- [23] Richartz, W.: Die Bindung von Chlorid bei der Zementhärtung. Zement – Kalk – Gips 22 (1969) H. 10, S. 447–456
- [24] Tritthart, J.: Bewehrungskorrosion – zur Frage des Chloridbindevermögens von Zement. Zement – Kalk – Gips 37 (1984) H. 4, S. 200–204
- [25] Sodeikat, Ch.: Auffinden von Bewehrungskorrosion mit Hilfe der Potentialfeldmessung. Tagungsband 1. Kolloquium Verkehrsbauten – Schwerpunkt Parkhäuser, Technische Akademie Esslingen (TAE), Esslingen 2004, S. 637–648
- [26] Nürnberger, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen, Band 1: Grundlagen, Betonbau. Bauverlag, Wiesbaden 1995
- [27] Raupach, M.: Auswirkung von Chloriden im Beton, Abhängigkeit von Betoneigenschaften. Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, Aachen 2008

beton [12/2019]



Planung, Bau, Betrieb

## HANDBUCH BETONKERN- AKTIVIERUNG



2016, 151 S., 16,5 x 23,5 cm,  
96 Abb., 21 Taf., geb.  
€ 49,80  
ISBN 978-3-7640-0609-9 (Print)

Die Betonkernaktivierung wird als innovative und kostengünstige Methode zur Temperaturregelung von Gebäuden immer interessanter. Mit relativ geringem Energieaufwand nutzt sie die Fähigkeit von Wänden und Decken im Gebäude, thermische Energie zu speichern und damit die Räume zu heizen oder zu kühlen. Mittlerweile ist diese Methode häufiger Bestandteil der modernen innovativen Architektur. Vor allem in Büro- und Verwaltungsgebäuden, Schulen oder Krankenhäusern gehört sie heute schon zum Standard. Was sich genau hinter dem Begriff „Betonkernaktivierung“ verbirgt und wie das ganze System funktioniert, zeigt dieses neue Handbuch. Es soll zunächst alle wichtigen Grundlagen, Definitionen und Hintergrundinformationen, die zum Verständnis des Gesamtsystems erforderlich sind, vermitteln und ausschlaggebende Berechnungsgrößen, welche für die Auslegung der Betonkernaktivierung unerlässlich sind, anhand von mathematischen Zusammenhängen und Formeln aufzeigen. Anschließend werden alle wichtigen Informationen von der Planung über den Bau bis hin zum Betrieb und zur Regelung der Betonkernaktivierung erläutert.

edition beton

Verlag Bau+Technik GmbH  
Steinhof 39  
40699 Erkrath  
Fax: 02 11/9 24 99-55  
Tel.: 02 11/9 24 99-21  
E-Mail: [vertrieb@verlagbt.de](mailto:vertrieb@verlagbt.de)

Print portofrei bestellen unter:  
[www.verlagbt.de](http://www.verlagbt.de) ▶ bookshop

Autoren:

Thomas Giel  
Alper Baydoğan  
Ali Dönmez

VERLAG  BAU+TECHNIK