

# Validierung zerstörungsfreier Messmethoden zur zuverlässigen Erfassung von Bewehrungskorrosion

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 26 (2011)

Dipl.-Ing. S. Keßler, Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen

Arbeitsgruppe 3, Stahl und Korrosion

M. Eng. Dipl.-Ing. (FH) Gino Ebell (BAM), Dr.-Ing. Andreas Burkert (BAM)

## 1 Einleitung

Die Korrosion der Bewehrung ist die häufigste Schadensursache in Stahlbetonbauwerken. Die Konsequenzen der Korrosion sind Querschnittsverluste der Bewehrung in Verbindung mit Rissbildung und Abplatzungen der Betondeckung. Infolge dessen wird die Gebrauchstauglichkeit vermindert und bei ungehindertem Fortschreiten der Korrosion letztendlich auch die Tragfähigkeit des Stahlbetonbauwerkes herabgesetzt. Für Bauwerksbetreiber ist es somit entscheidend, Messverfahren an der Hand zu haben, die Korrosionsprozesse genau detektieren können, um den Umfang von Inspektions- und Instandsetzungsmaßnahmen zielgerichtet und ökonomisch planen zu können.

Zur Detektion von Korrosion bieten sich die elektrochemischen Messmethoden Potentialfeldmessung und Polarisationsmessung an. Im Forschungsvorhaben „Validierung zerstörungsfreier Messmethoden zur zuverlässigen Erfassung von Bewehrungskorrosion“ wurden diese Messmethoden auf ihre Fehlerquellen, ihre Aussagegenauigkeit und ihre Nachweisgrenzen hin systematisch untersucht.

## 2 Polarisationsmessung (BAM)

Die Galvanostatische Pulsmessung (GPM) wurde im Rahmen dieses Vorhabens systematisch und unter praxisrelevanten Parametern untersucht. Dieses Messverfahren bietet die Möglichkeit der Verifizierung anodischer Teilbereiche und die Ermittlung des spezifischen Elektrolytwiderstandes. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Möglichkeiten der Durchführung von GPM an verschiedenen Probekörpern untersucht. Maßgebende Parameter wie Polarisationsstrom und -zeit, Elektrodengeometrie und elektrolytische Ankopplung wurden ebenso, wie der Unterschied von gerissenem zu ungestörtem Bauteil untersucht. Hierzu wurde ein bestehendes und ortsgebundenes Messsystem dahingehend modifiziert, dass die Messung fremdstromabhängig am Messobjekt durchgeführt und ausgewertet werden kann.

Anhand der aus GPM ermittelten Polarisationswiderstände konnten anodische Teilbereiche lokalisiert werden. Die Durchführung der GPM und die Ermittlung des Polarisations- und spezifischen Elektrolytwiderstandes sind in eine Handlungsanweisung eingeflossen.

Bei abweichender Elektrodengeometrie wurde ein weiteres Verfahren für die Ermittlung des Elektrolytwiderstandes untersucht. Ein gängiges Verfahren ist die Wechselstrom-Impedanzmessung an Bohrkernen. Die Abweichung zwischen ermitteltem Elektrolytwiderstand aus GPM und Wechselstrom-Impedanzmessung sind vernachlässigbar gering. Für die elektrolytische Ankopplung der Bohrkern erwiebs sich die Verwendung eines chloridfreien Elektrolytgels als sinnvoll. Die Kombination aus GPM mit Aufsatzmesskopf und der Elektrolytwiderstandsbestimmung am Bohrkern bietet dem Nutzer die Möglichkeit, Zellkonstanten vor Ort zu ermitteln. Somit können die gemessenen Elektrolytwiderstände direkt in spezifische Elektrolytwiderstände umgerechnet werden.

## 3 Potentialfeldmessung (cbm)

Die Potentialfeldmessung ist ein bewährtes Verfahren zur Ermittlung von korrodierenden Bereichen in Stahlbetonbauteilen. Jedoch wird das Messverfahren und somit auch das Messergebnis von einer Vielzahl von Einflussgrößen beeinflusst. Die wichtigsten Einflussgrößen wie die elektrokinetischen Effekte, der Elektrolytwiderstand des Betons, die Anodenfläche, das gewählte Messraster etc. wurden gezielt analysiert.

Ergänzend wurde ein Verfahren entwickelt, das die Analyse der Aussagegenauigkeit der Potentialfeldmessung mit numerischen Methoden ermöglicht. Die Potentialfeldmessung ist eine qualitative Messmethode. Das Ergebnis einer Potentialmessung dient der Beurteilung, ob Korrosionsprozesse zum Zeitpunkt der Messung stattfinden oder nicht. Die Aussagegenauigkeit von qualitativen Messmethoden wird über die Probability of Detection (PoD) bzw. die PoD-Kurven ausgewertet. PoD-Kurven beschreiben die

Wahrscheinlichkeit der Detektion eines Defektes in Abhängigkeit der Defektgröße. Die Defektgröße für die Potentialfeldmessung ist die Anodenfläche, also die Fläche auf der Bewehrung, die depassiviert ist. Ein PoD-Wert von 0 bedeutet, dass mit 100-prozentiger Wahrscheinlichkeit kein Defekt detektiert werden kann, während ein Defekt bei einem PoD-Wert von 1 hundertprozentig detektiert wird. In der Realität liegt die Wahrscheinlichkeit der Detektion eines Defektes zwischen 0 und 1.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die numerisch ermittelten PoD-Werte einer Plattengeometrie in Abhängigkeit des Messrasters und des Elektrolytwiderstandes R mit einer Betondeckung  $d_c = 30$  mm und einem Grenzpotential von  $-180$  mV<sub>SCE</sub>.

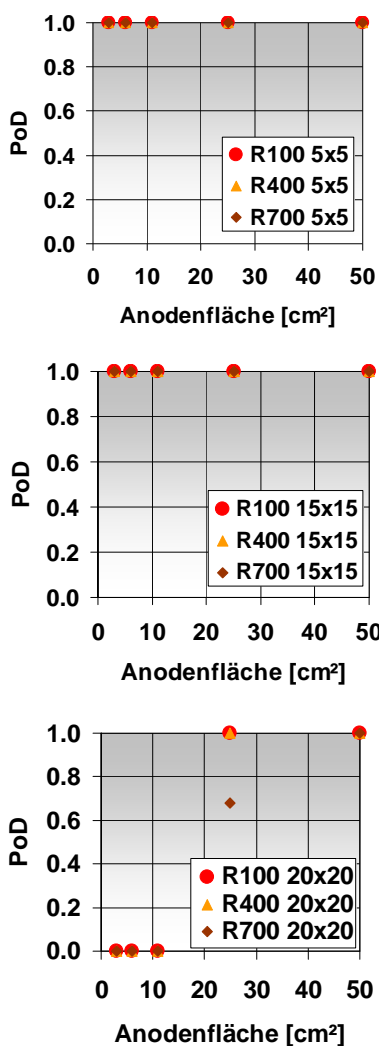


Abbildung 1: PoD-Werte mit Variation Messraster und Elektrolytwiderstand;  $d_c = 30$  mm

Mit einem feineren Messraster steigt die Wahrscheinlichkeit eine Korrosionsstelle zu identifizieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Potentialfeldmessung mit einem Messraster von  $15 \times 15$  cm durchgeführt werden sollte, um auch kleine Korrosionsstellen zu detektieren. Weitere Auswertungen zur POD sind im Abschlussbericht enthalten.

Die elektrokinetischen Effekte wurden in einer Parameterstudie an Laborprobekörpern untersucht. Die wichtigsten Einflüsse auf die elektrokinetischen Effekte im Beton sind pH-Unterschiede im Beton, die aufgrund von karbonatisierten Randschichten auftreten und in allen Bauwerken mit der Zeit zu erwarten sind. Die Größenordnung dieser Effekte konnte eingegrenzt werden. In der Handlungsanweisung zur Durchführung der Potentialfeldmessung wird darauf eingegangen, wie der Einfluss der elektrokinetischen Effekte minimiert werden kann.

Abgerundet werden die Untersuchungen des Potentialmessverfahrens durch Messungen an realen Bauwerken. Mit Hilfe der Bauwerksmessungen konnte die Wiederholgenauigkeit des Messverfahrens untersucht werden und die Einflüsse aus der freien Bewitterung der Bauwerke wie Temperatur, relative Feuchtigkeit und Niederschlag. Das Verfahren der Potentialfeldmessung erweist sich auch unter Praxisbedingungen als sehr robust.

#### 4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in ein Konzept zur Durchführung und Auswertung der Potentialfeld- und Polarisationsmessung eingegangen, um den Ingenieuren in der Praxis ein effizientes Werkzeug zur zerstörungsfreien Erfassung des Korrosionszustandes anzubieten.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

#### 5 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben ZN 291 der Forschungsvereinigung Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V. (DBV) und der Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V. (GfKORR) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

#### 6 Sonstiges

Der Abschlussbericht des Projektes kann in der Bibliothek des cbm eingesehen werden.