

## Numerische Modellierung der zeitlichen Entwicklung von Potentialfeldern infolge chloridinduzierter Korrosion

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 64 (2022)

Alexander Baumgartner, Christoph Zausinger

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

### 1 Einleitung

Chloridinduzierte Korrosion von Stahl in Beton birgt das Risiko einer besonders rapiden Verschlechterung der Lebensdauer von Stahlbetonbauwerken. Zur Auffindung aktiver Korrosionslöcher hat sich diesbezüglich das zerstörungsarme Prüfverfahren der Potentialfeldmessung bewährt. Besonders die Entwicklung von sich ausprägenden Potentialfeldern in Folge einer Feuchte-Tausalz-Beaufschlagung ist zum derzeitigen Zeitpunkt noch vergleichsweise unerforscht. Aus diesem Grund beschäftigt sich die nachfolgende wissenschaftliche Arbeit mit der Frage, wie sich die mit Referenzelektroden detektierbaren Potentialfelder eines gerissenen, korrosionsaktiven Stahlbetonbauteils nach kurzzeitiger Chlorid- und Feuchteeinwirkung verhalten. Des Weiteren soll untersucht werden, inwiefern sich eine Abbildung hinsichtlich momentaner und zeitlicher Ausprägung dieses Verhaltens unter Verwendung einer multiphysikalischen Simulationssoftware erzeugen lässt.

### 2 Messmethoden / Methoden

Hierzu wurde vorerst eine Laborstudie an gerissenen Stahlbetonbalken durchgeführt. In dieser wurden simultane Potentialmessungen an 30 Messpunkten auf den Probekörperoberflächen durchgeführt, während und nachdem diese mit 1,5 % NaCl-Lösung beaufschlagt wurden. Das Messraster wurde auf 3 Reihen aufgeteilt, wobei die mittlere Messreihe über der rissparallel verlaufenden, anodisch konzipierten Bewehrung und die beiden äußeren Reihen über der ungerissenen, kathodisch konzipierten Bewehrung liegt (vgl. Abb.1). Gleichzeitig wurde auf Basis der Probekörper ein FEM-Modell erstellt und statische sowie zeitabhängige Korrosionssimulationen auf Basis von Eingabeparametern aus der Literatur durchgeführt [1–5]. Als Korrelation zwischen Modell und Messung konnte der Korrosionsstrom leider vorerst nicht als Messgröße herangezogen werden. Unter Parametrisierung der Porensättigung konnte aber der dynamische Zustand vor, während und nach der Beaufschlagung approximiert werden.

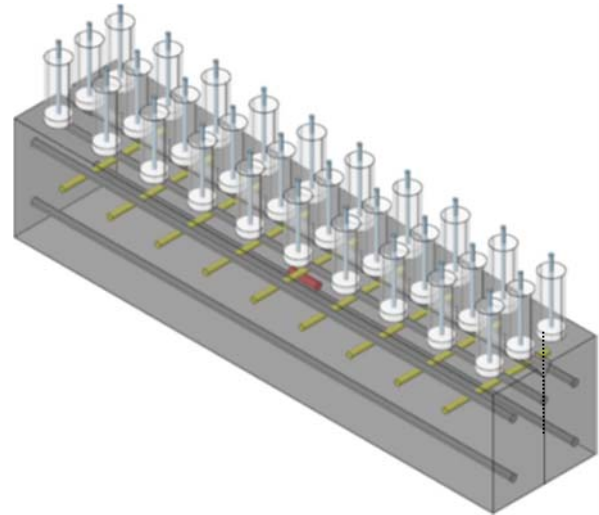


Abbildung 1: 3D-Skizze zum Messaufbau der 30 Oberflächenelektroden

### 3 Ergebnisse

In Abbildung 2 wird die zeitliche Entwicklung der oberflächlich gemessenen Potentialfelder den zusätzlichen Messgrößen: Korrosionsstrom (rot), Umgebungstemperatur (blau) und intern gemessenem Korrosionspotential (grün) gegenübergestellt. Zur Veranschaulichung wurden alle Potentialwerte in positive Werte konvertiert. Die Messung zum Zeitpunkt 0 stellt dabei den Ausgangszustand unmittelbar vor der Beaufschlagung da. Aus den Messungen geht hervor, dass sich die negativen Potentiale über der Mitte des anodisch konzipierten Stahlstab am stärksten ausprägen. Obwohl die Korrosionsströme auch nach 70 h noch auf einem vermeintlich hohen Niveau von 100  $\mu\text{A}$  liegen, lässt sich diese Korrosionsaktivität anhand der Oberflächenpotentiale nach 70 h nicht deutlich lokalisieren. Analog dazu, bildete sich auch innerhalb des FE-Modells ein eindeutiger Potentialgradient zwischen Mitte und Randbereichen des Balkens und ein schwacher Gradient über den anodisch, bzw. kathodisch konzipierten Bereichen (vgl. Abb. 3).

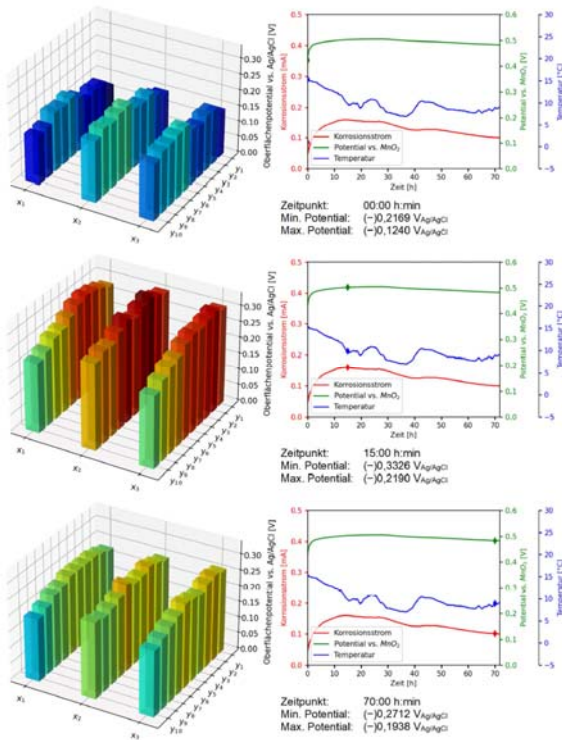


Abbildung 2: Vergleich der Entwicklung der Potentialfelder (links) zu den zusätzlichen Messgrößen (rechts): Korrosionsstrom, internes Korrosionspotential und Umgebungstemperatur über einen Zeitraum von 70 h.

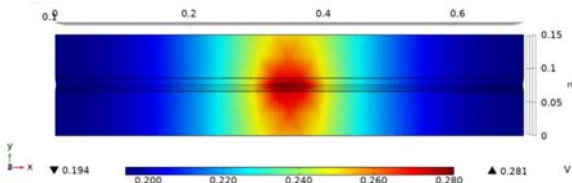


Abbildung 3: Darstellung des Oberflächenpotentials aus dem FE-Modell

Unter der Modell-Annahme, dass alle vier Kathodenstäbe den vollständigen Beitrag zur Redoxreaktion der Eisenauflösung leisten, ergibt sich der Strom-Porensättigung Zusammenhang aus Abb.4.

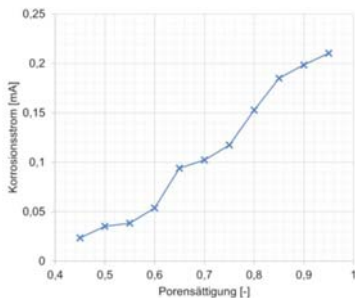


Abbildung 4: Entwicklung des Korrosionsstroms in Abhängigkeit der Porensättigung

Dabei werden Korrosionsströme erreicht, die mit den gemessenen Korrosionsströmen vergleichbar sind.

#### 4 Zusammenfassung

Gegenüber singulären Zustandserfassungen aus Potentialfeldmessungen realer Stahlbetonbauteile, erlauben die Potentialfeldmessungen vor, während und nach der Lösungskontamination er einen tiefergehenden Einblick in zugrundeliegenden Prozesse. Bemerkenswert ist hier vor allem der hohe Korrosionsstrom bei gleichmäßiger Potentialverteilung an der Probekörperoberfläche, nachdem die Versuchslösung 70 h lang wirken konnte.

Die Übereinstimmung der empirisch erhobenen Potentialfelder deckt sich gut mit der FE-Modellierung. Durch die indirekte Parametrisierung zwischen Messung und Modell über die hier nicht messbare Porensättigung, konnten vergleichbare Korrosionsströme erzielt werden. Das ursprüngliche Ziel Potentialfelder anhand benutzerdefinierter Korrosionsströme zu erzeugen bleibt, neben der Implikation einer multiphysischen Chloridverteilung, aber Gegenstand aktueller Forschung.

#### 5 Literaturverzeichnis

- [1] Cao, C. (2014) *3D simulation of localized steel corrosion in chloride contaminated reinforced concrete* in: Construction and Building Materials 72, S. 434–443.
- [2] Ge, J.; Isgor, O. B. (2007) *Effects of Tafel slope, exchange current density and electrode potential on the corrosion of steel in concrete* in: Materials and Corrosion 58, H. 8, S. 573–582.
- [3] Ghods, P.; Isgor, O. B.; Pour-Ghaz, M. (2008) *Experimental verification and application of a practical corrosion model for uniformly depassivated steel in concrete* in: Materials and Structures 41, H. 7, S. 1211–1223.
- [4] Gulikers, J. (2005) *Theoretical considerations on the supposed linear relationship between concrete resistivity and corrosion rate of steel reinforcement* in: Materials and Corrosion 56, H. 6, S. 393–403.
- [5] Ožbolt, J.; Balabanić, G.; Kušter, M. (2011) *3D Numerical modelling of steel corrosion in concrete structures* in: Corrosion Science 53, H. 12, S. 4166–4177.