

Kurzfassung der Dissertation von Johannes Ruppert

Möglichkeiten der quantitativen Korrosionsvorhersage für Baustähle in Gewässern mittels einer elektrochemischen Messzelle

Die Kenntnis der Nutzungsdauer von Spundwänden aufgrund ihrer Abrostung bzw. Korrosionsrate unter den gegebenen wasserchemischen Voraussetzungen ist neben der Standsicherheit auch von großem wirtschaftlichem Interesse. Beim Bau einer Spundwand muss die Korrosionsrate über die Standzeit abgeschätzt werden und aufgrund dieser in einer gewissen Wandstärke dimensioniert oder andere Korrosionsschutzmaßnahmen wie eine Korrosionsschutzbeschichtung oder ein kathodischer Korrosionsschutz vorgehalten werden. Die vorgesehene Nutzungsdauer von 50 bis 80 Jahren wird aufgrund lokaler Korrosionsschäden nur selten erreicht. Dies ist ein Grund, weshalb genauere Möglichkeiten der Vorhersage wünschenswert wären.

Die quantitative Vorhersage der Korrosion von Spundwandstählen wurde in dieser Arbeit durch zwei verschiedene Ansätze in einer elektrochemischen Messzelle verfolgt.

Der erste Ansatz erfolgte mit Modelllösungen, welche über den W_0 -Faktor entsprechend DIN 50929 - 3 definiert sind. Dieser Faktor erlaubt die Korrosivität eines Gewässers gegenüber Baustahl abzuschätzen.

Der zweite Ansatz war das Ansetzen von möglichst naturnahen Lösungen aus Brackwasser und Meerwasser nach DIN 50905 – 4 mit entsprechenden Leitfähigkeiten (ELF) der verschiedenen Gewässer in der Natur. Zudem die Verwendung von Stahlspundwandproben, die in den entsprechenden Gewässern verbaut sind bzw. waren.

Der Einsatz einer elektrochemischen Korrosionsmesszelle (KMZ) erwies sich als gutes Verfahren, welches eine schnelle und reproduzierbare Abschätzung der Korrosivität eines bestimmten Systems (Baustahl, Elektrolyt) unter definierten Bedingungen ermöglicht. Mit der Korrosionsmesszelle und den blanken Spundwandstahlproben wurde grundsätzlich die Anfangskorrosion erfasst, welche schneller abläuft als die Korrosion im weiteren Verlauf (z. B. nach der Ausbildung von Deckschichten).

Bei der Versuchsdurchführung der Versuche in der KMZ wurden Polarisationsmessungen, bei der eine bestimmte Spannung über einen Bereich beaufschlagt und der resultierende Strom gemessen wurde, durchgeführt. Dadurch wurden typische Strom-Spannungs-Kurven gewonnen.

Zur Auswertung der Strom-Spannungs-Kurven wurde der gemessene Strom halblogarithmisch gegen die Spannung in einem XY-Diagramm aufgezeichnet. Aus dem

Schnittpunkt der beiden angelegten Tafel-Geraden, welcher beim Gleichgewichtspotenzial liegen musste, konnte der Korrosionsstrom ermittelt werden, welcher zusammen mit der Probestfläche die Korrosionsstromdichte ergab. Aus dem Korrosionsstrom konnte über das erste Faraday-Gesetz die Korrosionsrate berechnet werden.

Die Charakteristik von natürlichen Gewässern wurde durch synthetische Modelllösungen (Brack- und Meerwasser nach deutschen Standardverfahren (DIN)) auf der Basis der elektrischen Leitfähigkeit (ELF) und des pH-Wertes simuliert. Dabei sind dieselben Stahlproben in die Modelllösungen eingebracht worden, welche in den entsprechenden Gewässern verbaut waren. Je nach elektrischer Leitfähigkeit wurde entweder DIN Meerwasser (ELF > 12,5 mS/cm) oder DIN Brackwasser (ELF < 12,5 mS/cm) verwendet.

Die Korrosionsgeschwindigkeit in der KMZ in den DIN-Modelllösungen und mit einer frisch präparierten und geschliffenen Baustahlprobe lag deutlich über den Werten aus dem Unterwasserbereich in der Natur. Dabei ergab sich im Mittel ein Faktor von 10 zwischen den Ergebnissen aus den Laborversuchen und denen aus der Natur als erste Näherung.

Für eine schnelle Variante des Vergleichs der Korrosionsraten bieten sich die beiden Modelllösungen nach DIN an (DIN MW und DIN BW). Bei der Verdünnung dieser Modelllösungen nach DIN auf die entsprechende elektrische Leitfähigkeit des natürlichen Gewässers ergeben sich zudem nahezu die gleichen W_0 -Faktoren für die verdünnten DIN-Modelllösungen wie für die natürlichen Gewässer.

In synthetischem Brackwasser nach DIN ergaben sich höhere Korrosionsraten als in synthetischem Meerwasser nach DIN bei gleicher elektrischer Leitfähigkeit unter sonst gleichen Bedingungen. Synthetisches Brackwasser enthält Thioacetamid, welches in wässrigen Lösungen Schwefelwasserstoff bildet, dass die Korrosion von Baustahl stimuliert. Synthetisches Meerwasser auf der anderen Seite enthält mehr Hydrogenkarbonat, welches durch die Bildung von schützenden Calciumkarbonat-Schichten die Korrosionsbeständigkeit erhöhen kann.

Die Versuche mit synthetischen Modelllösungen mit definiertem W_0 -Faktor zeigten, dass die Korrosivität mit geringer werdendem W_0 -Faktor prinzipiell zunahm.

Bei Modelllösungen mit einem W_0 -Faktor von größer (positiver) als -6, jedoch mit unterschiedlicher Salzkonzentration (Variation Bewertungsziffer N_3), wurde eine erhöhte Korrosionsrate für höhere Salzkonzentrationen bei gleichem W_0 -Faktor gefunden. In diesem Bereich des W_0 -Faktors nimmt zudem die Korrosionsrate mit reduzierter Salzkonzentration ab. In der synthetischen Modelllösung mit einem W_0 -Faktor von -8 zeigte die Variation der Salzkonzentration bei gleichbleibendem W_0 -Faktor keine sichtbare Wirkung auf die

Korrosionsrate. Eine leichte Variation des Salzgehalts zeigte damit nur bei weniger korrosiven Modelllösungen einen Einfluss.

Die Laborergebnisse mit den selbst erstellten synthetischen Modelllösungen wurden mit vier natürlichen Gewässern, deren W_0 -Faktor bestimmt wurde, verglichen. Die W_0 -Faktoren der natürlichen Gewässer und deren Korrosionsraten stimmten sehr gut mit denen der verwendeten synthetischen Modelllösungen in den Messungen in der KMZ überein. Der W_0 -Faktor kann somit für Vergleiche zwischen natürlichen Gewässern und synthetischen Modelllösungen innerhalb der KMZ über den kompletten Bereich des W_0 -Faktors verwendet werden.

Die Differenz zwischen den Korrosionsraten der Spundwände in der Natur im Unterwasserbereich und den Korrosionsraten in den synthetischen W_0 -Modelllösungen in der KMZ bewegt sich in etwa um den Faktor 10. Mit den weiteren Korrosionszonen von Spundwänden ist ein Vergleich deutlich erschwert, da die Korrosionsraten in der Natur in den anderen Zonen einer größeren Streuung unterliegen als die Korrosion in der Unterwasserzone.

Neben den W_0 -Modelllösungen und den verdünnten Modelllösungen nach DIN wurde die Abhängigkeit der Korrosionsrate von der Konzentration an gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) auf Basis von Huminstoffen aus dem Hohlohsee (HO) in der KMZ untersucht. Bei einer höheren Konzentration an DOC durch Zugabe von unverändertem Hohlohseewasser oder einem Fulvinsäure-Extrakt aus dem Hohlohsee nahm die Korrosionsrate der Stahlproben mit steigendem DOC-Gehalt ab. Dies galt sowohl für die Zugabe von DOC zu einer Natriumsulfatlösung als auch zu einer Natriumchloridlösung. In der Natur konnte der gleiche Effekt des DOC auf die Korrosionsrate gefunden werden.

Im W_0 -Faktor ist der Anteil von organischen Substanzen der Gewässer nicht enthalten. Da die DOC-Konzentration sowohl in der Natur als auch in den Laborversuchen einen deutlichen Einfluss auf die Korrosionsrate aufwies, sollte die DOC-Konzentration in die Bewertung bzw. in den W_0 -Faktor mit aufgenommen werden.

Bei den Untersuchungen weiterer Wasserparameter wie z. B. der Temperatur oder dem pH-Wert konnte die Literatur bestätigt werden. Bei der elektrischen Leitfähigkeit ist dabei allerdings der Bereich der Untersuchungen von Bedeutung und es lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen treffen.

Die chemische Zusammensetzung der Baustähle resultierte zum Teil in großen Unterschieden bei den Korrosionsraten in der Messzelle. In der Natur hingegen fallen die geringen Unterschiede der chemischen Zusammensetzung nicht ins Gewicht. Deshalb sollte

für Vergleiche mit der Natur eine Stahlprobe verwendet werden, die ein Mittelmaß bei den Korrosionsraten in der Messzelle aufwies.

Publikationsverzeichnis

Poster-Veröffentlichung, Vergleich der Abrostungsraten von Stahl zwischen Natur und Labor; Jahrestagung Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V.(GfKORR); Frankfurt 6./7. November 2012

Ruppert, J., Frimmel, F., Baier, R., Binder, G., Comparison of corrosion rates obtained from laboratory and field data, *Materials and Corrosion* 67 (6) (2016) 660–666.

Ruppert, J., Frimmel, F. H., Baier, R., Baumann, H., Investigation of corrosion rates with an electrochemical measuring cell in relation to the W0-factor according to DIN 50929-3 and the concentration of dissolved organic carbon (DOC), *Materials and Corrosion* 68 (4) (2017) 476–482.