

Wechselstromkorrosion

Referat, gehalten von Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Vesper, Leiter des Bereichs Kathodischer Korrosionsschutz der Firma Quante AG, Wuppertal, auf dem 4. Internationalen Kolloquium der CEOCOR in Wien 1997. Teil 2

4. Nachweis der theoretisch vorausgesagten Effekte durch Messungen in der Praxis

4.1 Untersuchungen im Labor

Das eigentliche Korrosionsgeschehen wird bestimmt durch die Vorgänge am Polarisationswiderstand R_p und ist damit der direkten Messung nicht zugänglich (s. Folge 25 Bild 1).

Bei der in der Korrosionsschutztechnik üblichen Messung des Potentials (hier: Ausschaltpotential) müßten die voraussagbaren Effekte jedoch nachgewiesen werden können.

Es wurde ein Versuch gemäß Bild 8 aufgebaut.

Drei Eisenelektroden befinden sich in einem Wasserbecken; die freie Stahloberfläche beträgt jeweils 32 mm^2 . Die beiden äußeren sind über Nebenwiderstände 1Ω , die der Strommessung dienen, mit einer Wechselspannungsquelle transformatorisch verbunden. Die Mittelelektrode ist an die Mittelanzapfung des Transformator angeschlossen. Der Wechselstrom kann rhythmisch ein- und ausgeschaltet werden.

Aus einer Gleichspannungsquelle kann über eine Inertanode Gleichstrom zur Polarisation eingeleitet werden. Zur Messung des Gleich- und Wechselspannungspotentials dient eine Cu/CuSO_4 -Meßelektrode.

Zunächst wurden die Fehlerstellen in der Isolation auf ein Ausschaltpotential von $-1,12 \text{ V}$ polarisiert. Danach wurde der Schutzstrom durch Unterbrechen der Zuleitung zur Anode (3) ausgeschaltet und die Wechselspannung in einem Rhythmus von 5 s „ein“ und 55 s „aus“ zu- bzw. abgeschaltet. Das System wurde der langsamen Depolarisation überlassen.

Bild 9 zeigt den gesamten zeitlichen Verlauf. Beginnend bei einem Ausschaltpotential von $-1,12 \text{ V}$ beträgt dieses nach etwas 3 Stunden noch $-0,77 \text{ V}$.

Ausschnittsweise zeigen die Bilder 10 und 11 das Verhalten des Ausschaltpotentials in Abhängigkeit von der Wechselspannungseinkopplung bei einem Ausschaltpotential von $-1,1 \text{ V}$ (Bild 10) und $-0,74 \text{ V}$ (Bild 11).

Beim Potential von $-1,1 \text{ V}$ ist deutlich das Abwandern des Potentials zu positiveren Werten hin in Abhängigkeit von der Wechselspannung zu erkennen, während nach Depolarisation auf $-0,74 \text{ V}$ das Potential zu negativeren Werten hin verändert wird. Bei der gewählten Polarität der Strommessung bedeutet ein positiver Wert, daß Elektronenstromfluß von der äußeren Elektrode zur mittleren hin stattfindet bzw. ein negativer Wert, daß die Elektronenstromrichtung von der mittleren Elektrode zur äußeren hin gerichtet ist.

Bei recht negativen Potentialen (Bild 10) erkennt man den Elektronenstromfluß von der mittleren Elektrode zur äußeren hin; dies bedeutet, daß nach Abbau der Polarisation der mittleren Elektrode hier Korrosion stattfinden würde, sofern dies nicht durch ausreichenden kathodischen Schutz verhindert wird.

Bei vergleichsweise weniger negativen Potentialen (Bild 11) findet Elektronenstromfluß von den äußeren Elektroden zur Mittelelektrode statt. Hier wird ohne kathodischen Schutz Korrosion der äußeren Elektroden auftreten.

Die frei werdenden Elektronen dienen jeweils zum Aufbau des kathodischen Schutzes an der Elektrode, zu der sie

hinfließen; der Nachweis wurde im Labor durch Hinzufügen von Phenolphthalein in den Versuchselektrolyten mit Farbumschlag an der kathodisch polarisierenden Elektrode geführt.

In einem weiteren Versuch wurde das System zunächst wieder auf $-1,17 \text{ V}$ polarisiert. Nach Abschalten des Schutzstromes wurde die Mittelelektrode mit 32 mm^2 freier Stahloberfläche gegen eine vergleichsweise großflächig blanke Stahlelektrode von 1.000 mm^2 freier Oberfläche ersetzt, die nicht polarisiert war.

Als Folge veränderte sich das Potential von $-1,17 \text{ V}$ auf $-0,54 \text{ V}$. Bei Zuschalten der Wechselspannung wurde das Potential zu negativeren Werten hin verändert, und es stellte sich ein Elektronenstromfluß von den äußeren Elektroden (Korrosion) zur Mittelelektrode hin ein.

4.2 Untersuchungen an einer Rohrleitung

An einer Gasleitung DN 300, die auf einer Länge von ca. 15 km durch Fahrströme der Deutschen Bahn AG beeinflusst wird, konnten die entsprechenden Untersuchungen in der Praxis durchgeführt werden. Die aus dem Bahnbetrieb herrührende zeitliche Veränderung der eingekoppelten Wechselspannung ermöglichte es, bei verschiedenen Wechselspannungsamplituden die Abhängigkeit des Potentials zu betrachten.

Bild 12 zeigt das Verhalten bei einem Mittelwert des Ausschaltpotentials von $-0,72 \text{ V}$. Die Theorie bestätigend wird das Potential mit steigender Wechselspannungsamplitude bei diesem recht positiven Ausschaltpotential negativer.

Zunächst sieht man, daß bei Wechselspannungsamplituden bis etwa $28 \text{ V}_{\text{eff}}$ keinerlei Korrelation zwischen der Höhe der Wechselspannung und dem Potential besteht. (Die aufge-

*Vorstand und Geschäftsführung
des Fachverbandes Kathodischer
Korrosionsschutz e.V.
wünschen allen Mitgliedern und
Freunden des Verbandes ein
gesegnetes Weihnachtsfest und ein
erfolgreiches Jahr 1998.*

zeichneten Potentialschwankungen rühren von dem Einfluß einer entfernten gleichstrombetriebenen Bahn her).

Bei einer Amplitude der Wechselspannung von 39 V_{eff} ist jedoch eine deutliche Veränderung des Potentials zu negativeren Werten hin zu erkennen (Cursorstellung).

Es kann folgendes festgestellt werden:

Bis zu einer bestimmten Größe der Wechselspannungsamplitude Rohr – Erde ist eine Wirkung der Wechselspannung auf das Ausschaltpotential nicht vorhanden. Erst bei Überschreiten einer bestimmten „kritischen“ Amplitude der Wechselspannung ist auch eine Veränderung des Gleichspannungspotentials als Wirkung der oben beschriebenen Zusammenhänge zu erkennen, beide Spannungsmeßwerte korrelieren. Die Potentialänderung beträgt bis zu einigen hundert Millivolt und ist in Analogie zur Theorie und den Laborversuchen als Wirkung der Wechselspannung zu beurteilen.

Sodann wurde der Arbeitspunkt verändert: das Potential der Rohrleitung wurde durch erhöhte Schutzstromspeisung zu negativeren Werten auf -0,91 V aufpolarisiert (Bild 13). Bei gleichen und sogar noch höheren Amplituden der eingekoppelten Wechselspannung als bei der ersten Messung ist eine Abhängigkeit des Potentials von der Wechselspannungsamplitude nicht mehr zu erkennen. Die Messungen wurden am gleichen Ort (Sondenstandort) durchgeführt.

5. Ergebnis, Zusammenfassung

Die oben stehenden Überlegungen und Untersuchungen zeigen, daß bei Vorhandensein einer Wechselspannung Rohr – Erde Korrosion auftreten kann, die durch eine Unsymmetrie der positiven und negativen Stromzeitflächen des durch eine Fehlerstelle fließenden Wechselstromes hervorgerufen wird; Ursache für die Unsymmetrie ist die Nichtlinearität des Polarisationswiderstandes. Korrosion tritt dann auf, wenn die positive Stromzeitfläche größer ist als die negative Stromzeitfläche, so daß der arithmetische Mittelwert des erzeugten Gleichstromes positiv ist; dieser Zusammenhang ist bei wenig negativem Potential gegeben.

Bei stark negativem Potential ist der Arbeitspunkt auf der Stromdichte-Potentialkurve so verschoben, daß die durch Wechselspannungseinkopplung gebildete negative Stromzeitfläche größer ist als die positive Stromzeitfläche und der arithmetische Mittelwert des erzeugten Gleichstromes negativ; Korrosion tritt dann nicht auf.

In einem Arbeitspunkt, in dem Korrosion auftritt, ändert sich der Wert des Ausschaltpotentials mit steigender Wechselspannungsamplitude zu negativeren Werten hin; ist durch Polarisation (Schutzstromspeisung) ein Arbeitspunkt erreicht, in dem keine Korrosion auftritt, so ändert sich das Ausschaltpotential mit zunehmender Wechselspannungsamplitude zu positiveren Werten hin.

Durch die Ausbildung der Deckschichtkapazität, die mit steigender Polarisation zunimmt, wird die am Polarisationswiderstand wirksame Wechselspannung im Verhältnis zur meßbaren Wechselspannung Rohr – Erde herabgesetzt.

Bei gleicher Amplitude der Wechselspannung Rohr – Erde von 16 ⅔ Hz und 50 Hz ist die Spannung der Frequenz 50 Hz bei sonst gleichen Bedingungen weniger wirksam als die der Frequenz 16 ⅔ Hz.

Bei Versuchen im Labor konnte durch ausreichende Polarisation von Stahlproben erreicht werden, daß die negative sich ausbildende Stromzeitfläche bei Wechselspannungseinkopplung überwiegt und Wechselstromkorrosion verhindert wird.

Um zu überprüfen, ob eine Rohrleitung der Wechselstromkorrosion unterliegt, wird vorgeschlagen, den meßtechnischen Nachweis durch Prüfen der Korrelation von Potentialänderung und Wechselspannungsänderung zu führen.

Bei zeitlich konstanter beeinflussender Größe muß zur Erzielung einer Wechselspannungsänderung auf der beeinflussten Seite die beeinflusste Seite wechselstrommäßig verändert werden. Dies kann durch Erdung über Kondensatoren, die zu- und abgeschaltet werden, erfolgen.

6. Quellenverzeichnis

- [1] Technische Empfehlung Nr. 1 der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen der Deutschen Bundesbahn, der Deutschen Bundespost und der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke
- [2] AfK-Empfehlung Nr. 3 der Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen „Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflußbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen“
- [3] Schöneich H.-G.: Wechselstrombeeinflussung und Wechselstromkorrosion. Fachreferat, gehalten auf der Jahreshauptversammlung 1994 des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V., veröffentlicht in Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V.

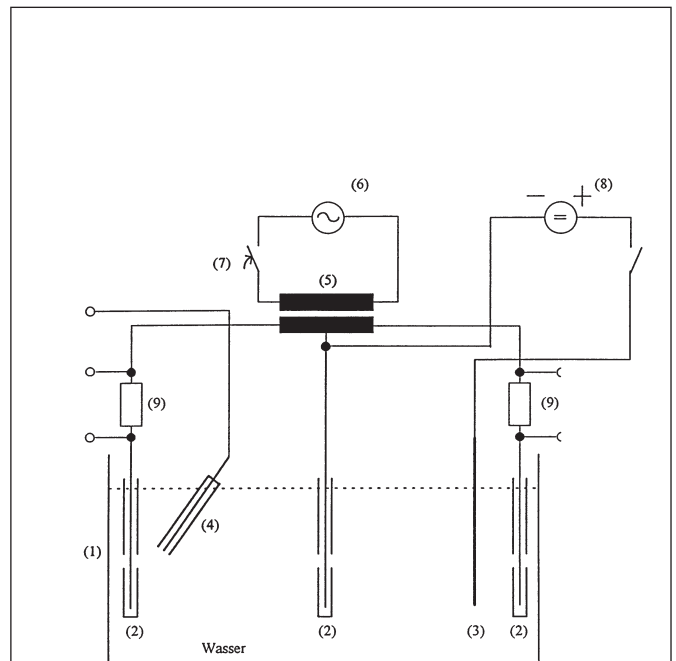


Bild 8: Versuchsaufbau zur Ermittlung des Einflusses einer Wechselspannung auf das Ausschaltpotential

- (1) Versuchsbecken mit Wasserfüllung
- (2) Eisenproben mit je 32 mm² großer Fehlerstrecke in der Umhüllung und Kabelanschlüsse
- (3) Inertanode
- (4) Cu / Cu So₄ - Meßsonde mit Meßanschluß
- (5) Transformator zur Wechselspannungseinkopplung
- (6) Wechselspannungsgenerator
- (7) Zeitschalter zum rhythmischen Ein- und Ausschalten der Wechselspannung
- (8) Gleichspannungsquelle
- (9) Widerstände 1 Ω zur Strommessung mit Meßanschlüssen

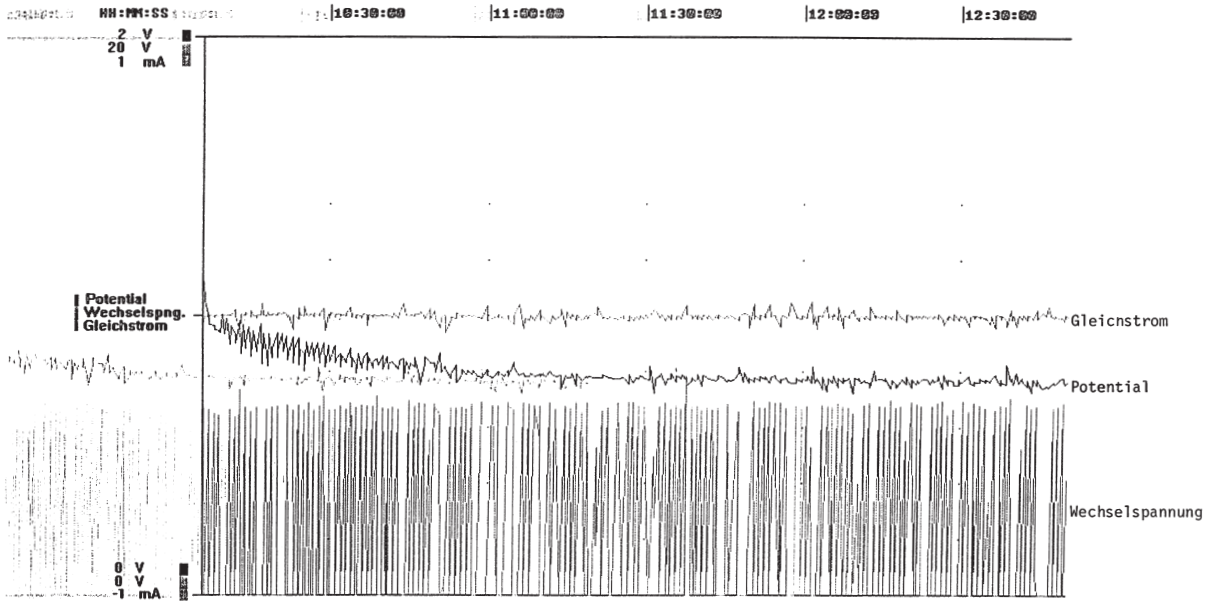


Bild 9: Wechselspannungseinkopplung gem. Bild 8, langsame Depolarisation

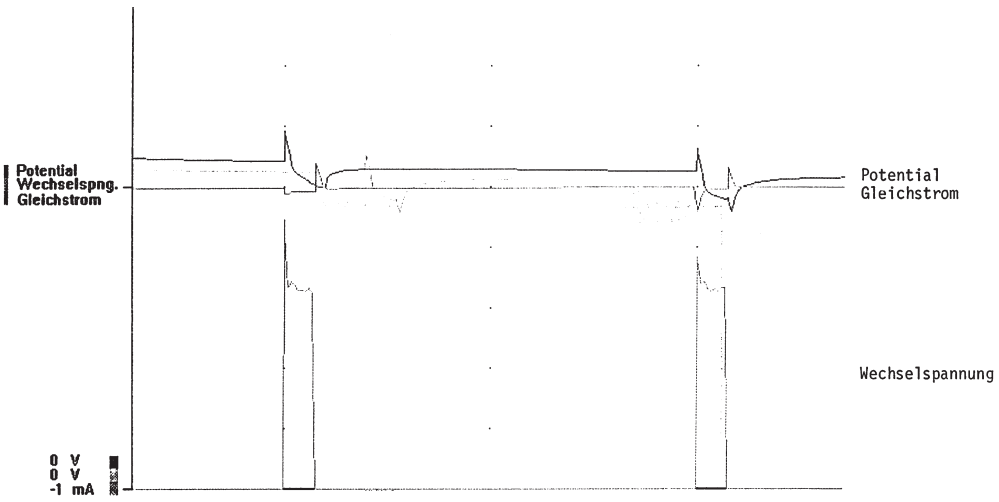


Bild 10: Wechselspannungseinkopplung gem. Bild 8, Verhalten von Potential und Gleichstrom bei stark negativem Ausschaltpotential

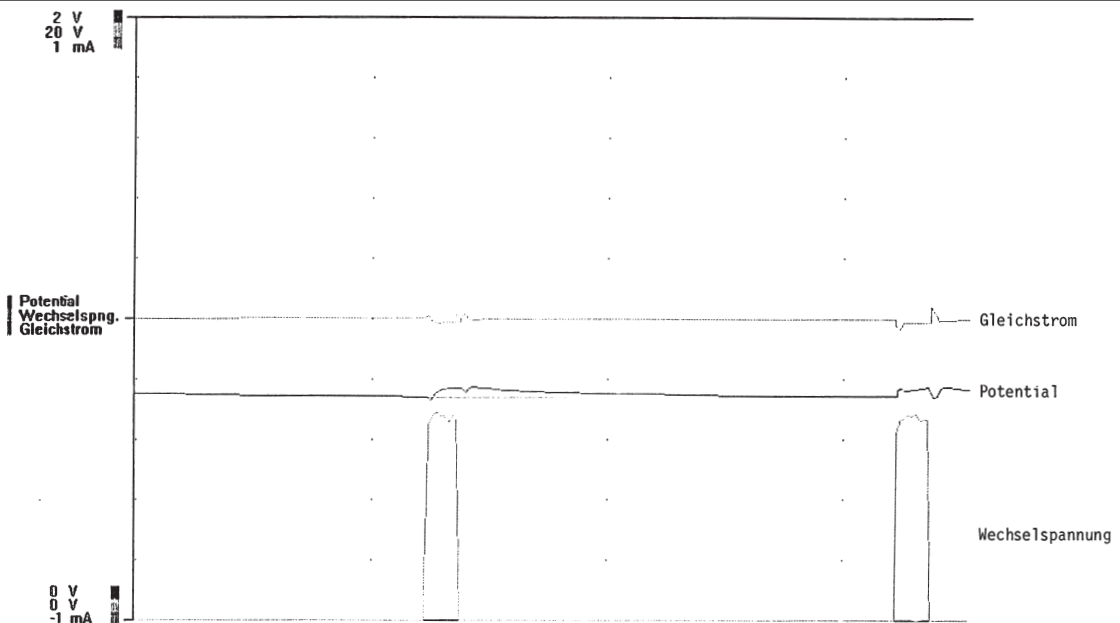


Bild 11: Wechselspannungseinkopplung gem. Bild 8, Verhalten von Potential und Gleichstrom bei wenig negativem Ausschaltpotential

Zu guter Letzt

Prioritäten setzen heißt auswählen, was liegenbleiben soll.

Helmar Nahr

Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 60 50, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 01-0, Telefax (07 11) 91 99 01-11 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 60 50, 73734 Esslingen. Redaktion: Dipl.-Phys. W. v. Baeckmann, Essen, Hans J. Spieth, Esslingen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge trägt der Verfasser die Verantwortung. Nachdruck mit Quellenangabe und Übersendung von zwei Belegexemplaren erwünscht.

