



Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes

Theorie und Praxis der
elektrochemischen Schutzverfahren

Vierte, völlig neubearbeitete Auflage

Herausgegeben von
W.v. Baeckmann und W. Schwenk

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester
Brisbane · Singapore · Toronto

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes

Herausgegeben von
W. v. Baeckmann und W. Schwenk



Kathodischer Korrosionsschutz

KKS

Kathodischer Korrosionsschutz für:

erdverlegte Stahl-Rohrleitungen
vermaschte Stadtnetze
erdverlegte Tankbehälter
110 kV-Gasdruckkabel
Spundwände

Unsere Leistungen:

Untersuchungen
Erstellen von Studien und Gutachten
Planung und Errichtung von KKS-Anlagen
Planung und Errichtung von Tiefenanoden
Störstellenortungen
Intensivmessungen
Nach- und Überwachungsmessungen
Bau von KKS-Gleichrichtern
Streustromuntersuchungen und Erstellung von Schutzkonzepten

WSC – EWA

Wechselstromkompensationsanlagen und Einwegableitungen
zum Schutz gegen Wechselstromkorrosion durch induzierte Spannungen aus:

- Hochspannungsfreileitungen
- Bahnstromanlagen

Unsere Leistungen:

- Untersuchungen nach DIN 50925 auf Wechselstromdichte und Rohrleitungspotential (AC)
- Planung und Errichtung von WSC- und EWA-Anlagen
- Inbetriebnahme und Überwachung von WSC- und EWA-Anlagen

Fordern Sie unser Info-Material an:

MARTIN GmbH
Werksstr. 18 • 45527 Hattingen
Tel.: 02324 5985-0 • Fax: 02324 5985-40
Email: info@martin-gmbh.de
DVGW-Bescheinigung nach GW 11

Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes

Theorie und Praxis der
elektrochemischen Schutzverfahren

Vierte, völlig neubearbeitete Auflage

Herausgegeben von
W.v. Baeckmann und W. Schwenk

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester
Brisbane · Singapore · Toronto

Dipl.-Phys. W. v. Baeckmann
Ulmenstraße 12
45133 Essen

Prof. Dr. W. Schwenk
Scheffelstraße 26
47057 Duisburg

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

1. Auflage 1971, Nachdruck der 1. Auflage 1974
- 2., völlig neubearbeitete Auflage 1980
- 3., völlig neubearbeitete Auflage 1989
- 4., völlig neubearbeitete Auflage 1999

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes :
Theorie und Praxis der elektrochemischen Schutzverfahren /
hrsg. von W. v. Baeckmann ... – 4., veränd. Aufl. –
Weinheim ; New York ; Chichester ; Brisbane ; Singapore ;
Toronto : Wiley-VCH, 1999
ISBN 3-527-29586-0

© WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1999

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzliche geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Satz und Druck: Konrad Triltsch, Druck- und Verlagsanstalt GmbH, D-97070 Würzburg
Bindung: Großbuchbinderei J. Schäffer, D-67269 Grünstadt
Printed in the Federal Republic of Germany

Vorwort zur vierten Auflage

Wie bei den vorhergehenden Auflagen liegt wiederum nach etwa 10 Jahren eine teilweise völlig überarbeitete Neuauflage vor. Im wesentlichen wurde aber das Gerüst der 3. Auflage mit den 24 Kapiteln unverändert beibehalten. Einige anwendungsbezogene Abschnitte wurden stark gekürzt, um Platz für neue Erkenntnisse zu schaffen.

Die einleitenden Grundlagenkapitel und die Kapitel über Rohrleitungen und Streustrombeeinflussung wurden völlig überarbeitet oder ergänzt. Bei allen Kapiteln wurde der Bezug auf Normen und Regelwerke, insbesondere auch die internationale Normung, auf den letzten Stand gebracht. Durchgehend wurden bei allen Kapiteln Überarbeitungen und Textbegrädigungen vorgenommen.

Bei den Grundlagen der elektrochemischen Korrosion und der Erdbodenkorrosion wurden – entsprechend den neueren Erkenntnissen – die Abschnitte über Korrosion unter Rißbildung und über Wechselstrom-Korrosion ergänzt. Die Grundlagen der Meßtechnik wurden erheblich ausgeweitet, wobei neben der IR-freien Potentialmessung vor allem die verschiedenen Arten der Vergleichsmessungen beschrieben werden. Wird bei der Intensivmeßtechnik letztlich nur der Fehler der Potentialmessung minimiert, so liegt bei den Vergleichsmessungen ein völlig neuartiges Konzept vor, das mit Hilfe von Systemparametern die Schützbarkeit eines lokalen Schutzobjekt-Bereiches prüft. Entsprechend wurden auch die Folgerungen der neuen Meßtechnik für die Anwendung bei Rohrleitungen ausführlich beschrieben und mit Fallbeispielen erläutert. Neben den Ausführungen über den Nachweis der ausreichenden kathodischen Schutzwirkung werden auch Schutzmaßnahmen gegen Wechselstrombeeinflussung eingehend behandelt.

Beim elektrochemischen Innenschutz – im wesentlichen als Schutz-Maßnahme bei Apparaten und Behältern bekannt – wurden neuere Anwendungen nunmehr auch bei Anlagen mit Rohrleitungen beschrieben.

Die Herausgeber danken allen Mitarbeitern, die teils schon bei den Voraufgaben beteiligt waren und teils dem Nachwuchs angehören, für ihre Mühe und dem Verlag für das bewährte fördernde Entgegenkommen bei der Gestaltung und Herausgabe dieses Handbuchs.

Duisburg,
im Sommer 1999

W. v. BAECKMANN
W. SCHWENK

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Vorwort zur ersten Auflage

Entdeckung und Gebrauch metallischer Werkstoffe am Ende der Steinzeit zählen zu den wichtigsten Voraussetzungen für die Entwicklung der heutigen Technik. Leider sind die meisten Gebrauchsmetalle nicht immer und überall genügend beständig. In einer ungünstigen Umgebung können sie mehr oder weniger schnell durch Korrosion zerstört werden. Die Untersuchung derartiger Korrosionsreaktionen sowie der Verfahren, mit denen sich Metalle vor Korrosionsangriffen schützen lassen, ist eine Aufgabe von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung.

Wissenschaftlich können die Vorgänge beim kathodischen Korrosionsschutz exakter erfaßt werden als bei anderen Schutzverfahren. Bei der Metallkorrosion in wäßrigen Lösungen oder Böden handelt es sich im Prinzip um einen elektrolytischen Vorgang, der durch eine elektrische Spannung – das Potential des Metalls in der Elektrolytlösung – gesteuert wird. Bei einer Verringerung des Potentials muß nach den Gesetzen der Elektrochemie die Reaktionsaffinität und damit auch die Reaktionsgeschwindigkeit abnehmen. Obwohl diese Zusammenhänge seit mehr als hundert Jahren bekannt sind und der kathodische Schutz vereinzelt auch schon sehr früh praktiziert wurde, hat die Verbreitung seiner technischen Anwendung sehr lange auf sich warten lassen. Man ist geneigt anzunehmen, daß das kathodische Schutzverfahren in manchen Bereichen als zu fremd empfunden wurde und daß die erforderlichen elektrotechnischen Überlegungen von seiner praktischen Anwendung abhielten. Im Vergleich zu den theoretischen Grundlagen ist die Praxis des kathodischen Schutzes in der Tat wesentlich komplizierter.

Über viele Einzelprobleme und Anwendungsbeispiele gibt es inzwischen eine umfangreiche fremdsprachige Fachliteratur. Da ein zusammenfassendes Werk in deutscher Sprache über den derzeitigen Stand der Kenntnisse bisher nicht vorlag, war es für den Praktiker recht mühsam, sich in dieses Fachgebiet einzuarbeiten. Der DVGW-Fachausschuß für Korrosionsfragen hat deshalb die Herausgabe dieses Handbuches über den kathodischen Schutz angeregt und eine Reihe seiner Mitglieder haben sich dankenswerterweise als Autoren einzelner Kapitel zur Verfügung gestellt.

In diesem Handbuch wird vorwiegend die Praxis des kathodischen Schutzes behandelt, aber auch die Grundlagen und Nachbargebiete werden besprochen, soweit sie für ein möglichst umfassendes Verständnis des kathodischen Schutzes notwendig sind. Einleitend hielten wir eine historische Übersicht für nützlich, um den technischen Werdegang des Schutzverfahrens darzulegen. Im anschließenden Kapitel werden die erforderlichen theoretischen Grundlagen der Metallkorrosion und des Korrosionsschutzes behandelt. Mit Absicht werden verschiedene Werkstoff/Medium-Paarungen dargestellt, um die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten elektrochemischer Schutzverfahren zu verdeutlichen.

Zur Zeit wird der kathodische Korrosionsschutz nur im Bereich natürlicher Wässer und Böden allgemein angewandt. Für die Zukunft sind aber auch bei industriellen Anlagen und Behältern Anwendungsmöglichkeiten zu sehen. Daher wurde ein Kapitel über den anodischen Schutz aufgenommen, der erst in den letzten zehn Jahren vereinzelt praktiziert wird. Kathodischer und anodischer Schutz sind im Prinzip sehr ähnliche Verfahren und rechtfertigen den Begriff *elektrochemischer Schutz* im Untertitel des Buches.

In den meisten Anwendungsfällen wird der kathodische Schutz mit einem passiven Schutzsystem, einer Beschichtung, kombiniert. Wegen der hierbei möglichen mannigfaltigen Wechselwirkungen erschien auch die Behandlung passiver Schutzverfahren notwendig. Ferner wurde ein Kapitel über allgemeine Meßtechnik eingefügt, da sich gerade in der Praxis des kathodischen Schutzes immer wieder zeigt, wie wichtig ein sorgfältiges Durchdenken der Meßprobleme ist. Es erfordert Erfahrung, mögliche Fehlerquellen einzukalkulieren, und es ist notwendig, überraschende Meßergebnisse stets durch eine unabhängige Kontrollmessung zu überprüfen. Meßprobleme spielen auch eine besondere Rolle bei Fremdstromanlagen, bei denen man sich vergegenwärtigen muß, daß eine falsch gepolte Anlage stets intensive Korrosion erzeugt. Sie ist sogar gefährlicher als ein unterlassener oder ausgefallener Korrosionsschutz.

In den weiteren Kapiteln werden ausführlich Eigenschaften und Anwendung galvanischer Anoden, kathodischer Schutzgleichrichter einschließlich der besonderen Geräte für den Streustromschutz und von Fremdstromanoden erörtert. Als Anwendungsgebiete werden behandelt: erdverlegte Rohrleitungen, Lagerbehälter, Tankläger, Fernmelde-, Starkstrom- und Druckgaskabel, Schiffe, Hafenanlagen und der Innenschutz von Brauchwasser- und Industrieanlagen. Ein besonderes Kapitel befaßt sich mit dem Problem hochspannungsbeeinflusster Rohrleitungen und Kabel. Eine Betrachtung über Kosten und wirtschaftliche Gesichtspunkte bildet den Abschluß. In einem Anhang haben wir Übersichts-Tabellen und mathematische Ableitungen zusammengestellt, soweit sie uns für die praktische Anwendung und Vervollständigung des Buches wichtig erschienen.

Die Herausgeber danken allen Mitarbeitern für ihre Mühe, der Ruhrgas AG und der Mannesmann-Forschungsinstitut GmbH für freundliche Unterstützung sowie dem Verlag Chemie für großzügiges Entgegenkommen bei der Herausgabe und Gestaltung des Handbuches.

Essen und Duisburg,
im Frühjahr 1971

W. v. BAECKMANN
W. SCHWENK

Inhalt

1	Historische Entwicklung des elektrochemischen Korrosionsschutzes	1
	W. V. BAECKMANN	
1.1	Geschichte des kathodischen Schutzes	1
1.2	Entwicklung des Streustromschutzes	7
1.3	Entwicklung der Passivität und des anodischen Schutzes	10
1.4	Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Umhüllungen	11
1.5	Korrosionsschutz durch Information	12
1.6	Literatur	12
2	Grundlagen und Begriffe der Korrosion und des elektrochemischen Korrosionsschutzes	15
	W. SCHWENK	
2.1	Was sind Korrosionsvorgänge, Korrosionsschäden und Schutzmaßnahmen?	15
2.2	Elektrochemische Korrosion	17
2.2.1	Die metallischen Werkstoffe	18
2.2.2	Die wäßrigen Elektrolytlösungen	21
2.2.3	Elektrochemische Phasengrenzreaktionen	24
2.2.3.1	Thermodynamische Grundlagen	24
2.2.3.2	Elektrochemische Kinetik	27
2.2.4	Mischelektroden	30
2.2.4.1	Homogene Mischelektroden	30
2.2.4.2	Heterogene Mischelektroden und Elementbildung	32
2.2.5	Bemerkungen zur Stromverteilung	36
2.3	Die Potentialabhängigkeit von Korrosionsgrößen	37
2.3.1	Nahezu gleichförmiger Flächenabtrag	38
2.3.1.1	Flächenkorrosion aktiver Metalle	38
2.3.1.2	Flächenkorrosion passiver Metalle	43
2.3.2	Lochkorrosion	45
2.3.3	Spannungsrißkorrosion	47

X	Inhalt	
2.3.4	Wasserstoff-induzierte Rißkorrosion	49
2.3.5	Schwingungsrißkorrosion (Korrosionsermüdung)	52
2.3.6	Dehnungsinduzierte Rißkorrosion	54
2.3.7	Anwendungsgrenzen für elektrochemische Schutzverfahren	54
2.4	Zusammenstellung von Schutzpotentialen bzw. -bereichen	55
2.5	Literatur	59
3	Grundlagen und Praxis der elektrischen Meßtechnik	63
	W. v. BAECKMANN, J. GEISER und W. SCHWENK	
3.1	Die elektrischen Meßgrößen: Strom, Spannung und Widerstand	63
3.2	Bezugselektroden	65
3.3	Die Potentialmessung und Schutzkriterien	69
3.3.1	Schutzobjekte mit einer oder mit gleichen Fehlstellen	69
3.3.2	Schutzobjekte mit mehreren unterschiedlichen Fehlstellen	73
3.3.3	Intensivmeßtechnik	77
3.3.3.1	Grundlagen und Meßgrößen der Intensivmeßtechnik	77
3.3.3.2	Durchführung einer Intensivmessung	80
3.3.3.3	Fehlerquellen bei der Intensivmessung	82
3.3.4	Potentialvergleichsmessung mit externer Meßprobe	83
3.3.5	Polarisation-Vergleichsmessungen	85
3.3.6	Pragmatische Schutzkriterien	87
3.3.7	Potentialmessung in der Anwendung	89
3.3.7.1	Meßgeräte und ihre Eigenschaften	89
3.3.7.2	Potentialmessungen an Rohrleitungen und Behältern	91
3.3.7.3	Potentialmessung bei Streustrom-Beeinflussung	93
3.3.7.4	Potentialmessung bei Wechselstromeinfluß	94
3.4	Die Strommessung	95
3.4.1	Allgemeine Hinweise für Strommessungen	95
3.4.2	Die Rohrstrom-Messung	96
3.4.3	Die Messung der Schutzstromdichte und des Umhüllungswiderstandes	97
3.5	Die Widerstandsmessung	100
3.5.1	Widerstandsmeßgeräte	100
3.5.2	Messung des spezifischen Bodenwiderstandes	101
3.5.3	Messung des Ausbreitungswiderstandes	105
3.6	Fehlerortung	106
3.6.1	Fehlerortung bei Rohrleitungen	106
3.6.2	Messung von Fremdkontakten	108
3.6.2.1	Ortung mit Gleichstrom	108
3.6.2.2	Ortung mit Wechselstrom	109

3.6.3	Ortung heterogener Oberflächenbereiche durch Feldstärkemessungen . . .	110
3.6.3.1	Ortung von Lokalanoden	110
3.6.3.2	Ortung von Umhüllungsschäden	113
3.6.3.3	Feldverteilung bei fehlender oder poröser Umhüllung	116
3.7	Fernüberwachung des kathodischen Schutzes	117
3.8	Schutzkriterien und Meßgrößen bei Wechselstrom-Belastung	118
3.9	Literatur	120
4	Korrosion in Wässern und Erdböden	123
	TH. HEIM und W. SCHWENK	
4.1	Wirkung der Korrosionsprodukte und Korrosionsarten	123
4.2	Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit unbeschichteter Metalle	125
4.2.1	Korrosion in Böden	127
4.2.2	Korrosion in Wässern	130
4.3	Korrosion bei anodischer Beeinflussung durch Elementbildung oder Streuströme aus Gleichstromanlagen	130
4.4	Korrosion durch Wechselstrombeeinflussung	132
4.5	Korrosion in Spalten und unter loser Beschichtung	134
4.6	Literatur	136
5	Beschichtungen und Überzüge für den Korrosionsschutz	139
	TH. HEIM und W. SCHWENK	
5.1	Zweck und Arten des passiven Korrosionsschutzes	139
5.1.1	Organische Beschichtungen	140
5.1.2	Mörtelbeschichtungen	140
5.1.3	Emailüberzüge	141
5.1.4	Metallische Überzüge	141
5.2	Eigenschaften organischer Beschichtungen	141
5.2.1	Elektrische und elektrochemische Eigenschaften	141
5.2.1.1	Übersicht der Reaktionsarten	141
5.2.1.2	Umhüllungswiderstände und Schutzstrombedarf	143
5.2.1.3	Kathodische Wirksamkeit und Elementbildung	146
5.2.1.4	Elektrochemische Blasenbildung und Elektroosmose	147
5.2.1.5	Kathodische Unterwanderung	150
5.2.2	Physikalisch-chemische Eigenschaften	153
5.2.3	Mechanische Eigenschaften	154
5.2.4	Grenzen der Schutzwirkung organischer Beschichtungen	155

XII	Inhalt	
5.3	Eigenschaften von Zementmörtel und Beton	156
5.3.1	Korrosion des Mörtels	157
5.3.2	Korrosion des Stahls im Mörtel	157
5.4	Eigenschaften von Emailüberzügen	159
5.5	Eigenschaften von metallischen Überzügen	159
5.6	Literatur	160
6	Galvanische Anoden	163
	G. FRANKE und B. RICHTER	
6.1	Allgemeine Hinweise	163
6.1.1	Strominhalt galvanischer Anoden	164
6.1.2	Stromabgabe galvanischer Anoden	168
6.2	Anodenmaterialien	169
6.2.1	Eisen	169
6.2.2	Zink	170
6.2.3	Aluminium	171
6.2.4	Magnesium	172
6.3	Bettungsmassen	175
6.4	Halterungen	176
6.5	Anodenformen	177
6.5.1	Stabanoden	177
6.5.2	Platten- oder Blockanoden	178
6.5.3	Tankanoden	179
6.5.4	Offshore-Anoden	179
6.5.5	Sonderformen	180
6.6	Qualitäts- und Eignungsprüfung	180
6.7	Vor- und Nachteile galvanischer Anoden	181
6.8	Literatur	182
7	Fremdstrom-Anoden	183
	D. FUNK	
7.1	Allgemeine Hinweise	183
7.2	Anodenmaterialien	184
7.2.1	Massivanoden	184
7.2.2	Edelmetalle und Edelmetall-beschichtete Ventilmetalle	190
7.2.3	Metalloxid-beschichtete Ventilmetalle	192
7.2.4	Kunststoff-Kabelanoden	192

7.3	Isolierstoffe	192
7.4	Kabel	193
7.5	Anodenformen	194
7.5.1	Anoden für Erdbodenverlegung	194
7.5.2	Anoden für Wässer	196
7.5.3	Anoden für den Innenschutz	197
7.6	Literatur	198
8	Fremdstrom-Anlagen und Schutzstrom-Geräte	201
	W. v. BAECKMANN und W. VESPER	
8.1	Standort und elektrische Schutzmaßnahmen	201
8.2	Auslegung und Schaltung der Schutzstrom-Geräte	203
8.3	Gleichrichter-Schaltung	204
8.4	Einstellbare Schutzstrom-Geräte	206
8.5	Hochspannungsfeste Schutzstrom-Geräte	207
8.6	Regelnde Schutzstrom-Geräte	209
8.7	Netzunabhängige Schutzstrom-Geräte	212
8.8	Ausrüstung und Überwachung von Schutzstrom-Geräten	213
8.9	Literatur	216
9	Fremdstromanoden-Anlagen im Erdboden und Beeinflussungsfragen	217
	W. v. BAECKMANN, J. GEISER und W. VESPER	
9.1	Fremdstromanoden-Anlagen	218
9.1.1	Durchgehende horizontale Anodenanlagen	218
9.1.2	Einzelanoden-Anlagen	221
9.1.3	Tiefenanoden-Anlagen	223
9.2	Beeinflussung fremder Rohrleitungen und Kabel	227
9.2.1	Beeinflussung durch den Spannungstrichter der Anoden	227
9.2.2	Beeinflussung durch den kathodischen Spannungstrichter des Schutzobjektes	229
9.2.3	Aufhebung der Beeinflussung	231
9.3	Literatur	234

10	Rohrleitungen	235
	J. GEISER, B. LEUTNER und F. SCHWARZBAUER	
10.1	Elektrische Eigenschaften von Rohrleitungen aus Stahl	235
10.1.1	Allgemeine Angaben	235
10.1.2	Maßnahmen für einen kleinen Widerstandsbelag	236
10.1.3	Maßnahmen für einen kleinen Ableitungsbelag	236
10.1.3.1	Rohrumhüllungen	236
10.1.3.2	Isolierverbindungen	237
10.1.3.3	Elektrisch betriebene Armaturen	238
10.2	Sonderkonstruktionen an Rohrleitungen	239
10.2.1	Vermeiden von Fremdkontakten	240
10.2.2	Mantelrohre und begrenzte Leitungsabschnitte mit grabenloser Verlegung	241
10.3	Rohrleitungen für elektrolytisch leitende Flüssigkeiten	243
10.4	Planung des kathodischen Korrosionsschutzes	246
10.4.1	Planung für fertig verlegte Objekte	246
10.4.1.1	Rohrleitungen	246
10.4.1.2	Verteilungsnetze	250
10.4.2	Planungen für gesonderte Rohrleitungsabschnitte	255
10.4.2.1	Ziele der Planung	255
10.4.2.2	Vermaschte Netze	256
10.4.2.3	Grabenlos verlegte Mantelrohre und Düker	257
10.5	Inbetriebnahme des kathodischen Schutzes	258
10.6	Überwachung des kathodischen Schutzes	260
10.7	Schutzmaßnahmen gegen Wechselstromkorrosion	261
10.7.1	Kriterien und Schutzmaßnahmen	261
10.7.2	Wahl der Schutzmaßnahmen	262
10.7.2.1	Einbau von Isolierkupplungen	263
10.7.2.2	Erden der Rohrleitung	263
10.7.2.3	Kompensation durch galvanische Ankopplung	263
10.7.3	Anwendungsbereiche	265
10.7.3.1	Beeinflussung durch Hochspannung-Freileitungen	265
10.7.3.2	Beeinflussung durch Bahnströme	265
10.7.4	Betrieb und Überwachung	265
10.8	Literatur	266
11	Lagerbehälter und Tankläger	267
	U. BETTE, K. HORRAS und G. RIEGER	
11.1	Besondere Probleme beim Behälterschutz	267
11.2	Vorbereitende Maßnahmen	267

11.3	Lagerbehälter	269
11.3.1	Schutzstrombestimmung, Beurteilung und Anschlüsse der Schutzanlagen	269
11.3.2	Wahl des Schutzverfahrens	272
11.3.3	Beispiele für die Auslegung von Schutzanlagen	272
11.3.3.1	Schutzanlage mit galvanischen Anoden	272
11.3.3.2	Schutzanlage mit Fremdstrom	274
11.4	Tankläger und Betankungsanlagen	276
11.5	Besonderheiten beim kathodischen Schutz im Bereich von Eisenbahnen	277
11.5.1	Allgemeine Hinweise	277
11.5.2	Potentialausgleichsleitungen und Trennungen	278
11.5.3	Schutzerdung an elektrischen Bahnen	278
11.5.4	Blitzschutz	279
11.5.5	Beeinflussung und Arbeiten im Bahnbereich	280
11.6	Maßnahmen bei Mischinstallationen	280
11.7	Innenschutz von Heizölbehältern	281
11.8	Berücksichtigung anderer Schutzmaßnahmen	282
11.9	Betrieb und Wartung kathodischer Schutzanlagen	284
11.10	Literatur	284
12	Lokaler kathodischer Korrosionsschutz	287
	W. v. BAECKMANN und J. GEISER	
12.1	Anwendungsbereiche	287
12.2	Besonderheiten des Lokalen kathodischen Korrosionsschutzes	288
12.3	Kraftwerke	290
12.4	Gasanlagen	293
12.5	Anlagen mit kleinen Stahl-Beton-Fundamenten	294
12.6	Tankläger	296
12.7	Literatur	299
13	Fernmeldekabel	301
	C. GEY und T. HOFFMANN	
13.1	Allgemeines	301
13.2	Passiver Korrosionsschutz	301

XVI Inhalt

13.3	Kathodischer Korrosionsschutz	303
13.3.1	Allgemeine Angaben	303
13.3.2	Streustrom-Schutz	304
13.3.3	Kathodischer Schutz mit Fremdstrom-Anoden	304
13.4	Literatur	308
14	Starkstromkabel	309
	H.-U. PAUL und CH. DÖRNEMANN	
14.1	Eigenschaften erdverlegter Starkstromkabel	309
14.2	Kathodischer Korrosionsschutz für Stahlrohre von Hochspannungskabeln	310
14.2.1	Anforderungen an Abgrenzeinheiten	311
14.2.2	Bauformen von Abgrenzeinheiten	312
14.2.2.1	Niederohmige Widerstände	312
14.2.2.2	Höherohmige Widerstände	313
14.2.2.3	Abgrenzeinheit mit Nickel-Cadmium-Zelle	313
14.2.2.4	Polarisationszelle	314
14.2.2.5	Abgrenzeinheiten mit Siliciumdioden	315
14.2.3	Errichtung von kathodischen Korrosionsschutzanlagen	317
14.2.4	Kontrolle des kathodischen Schutzes	317
14.3	Streustrom-Schutz	318
14.4	Literatur	319
15	Streustrom-Beeinflussung und Streustrom-Schutz	321
	W. V. BAECKMANN, U. BETTE und W. VESPER	
15.1	Ursachen der Streustrom-Beeinflussung	321
15.1.1	Gleichstrom erzeugende Anlagen	321
15.1.2	Allgemeine Maßnahmen an Gleichstrom-Anlagen	322
15.2	Streuströme von Gleichstrombahnen	322
15.2.1	Ursachen der Streustromkorrosion	322
15.2.2	Bestimmungen für Gleichstrombahnen	324
15.2.2.1	Allgemeine Anforderungen	324
15.2.2.2	Spezielle Anforderungen an Tunneln von Gleichstrombahnen	325
15.3	Streuströme aus Hochspannung-Gleichstrom-Übertragungsanlagen	328
15.4	Weiträumige Streustrombeeinflussung durch stationäre fremde Felder und tellurische Ströme	330
15.5	Schutzmaßnahmen an durch Gleichstrombahnen beeinflussten Anlagen	331
15.5.1	Meßtechnische Ermittlungen der Streustrombeeinflussung	331

15.5.2	Arbeitsweise von Streustrom-Schutzmaßnahmen	337
15.5.3	Auswahl und Auslegung von Streustrom-Schutzanlagen	338
15.6	Streustrom-Schutzmaßnahmen in Hafenanlagen und auf Werften	340
15.7	Literatur	341
16	Seebauwerke und Offshore-Rohrleitungen	343
	B. RICHTER und D. ENGEL	
16.1	Kathodische Korrosionsschutzverfahren	343
16.1.1	Auslegungskriterien	344
16.1.2	Schutz mit galvanischen Anoden	347
16.1.3	Schutz mit Fremdstrom	347
16.2	Plattformen	348
16.2.1	Stahlbauwerke	348
16.2.2	Betonbauwerke	350
16.3	Hafenanlagen	351
16.3.1	Fremdstrom-Anlagen	352
16.3.2	Schutz mit galvanischen Anoden	353
16.4	Spundwände	353
16.5	Pfahlgründungen	354
16.6	Offshore-Rohrleitungen	357
16.7	Kontrolle des kathodischen Schutzes	358
16.7.1	Produktionsplattformen	358
16.7.2	Hafenbauwerke	359
16.7.3	Seeverlegte Rohrleitungen	359
16.8	Literatur	362
17	Kathodischer Schutz von Schiffen	363
	B. RICHTER und D. ENGEL	
17.1	Wasserseitige Einflußgrößen	363
17.1.1	Gelöste Salze und Feststoffe	363
17.1.2	Belüftung und Sauerstoffgehalt	364
17.1.3	Strömungsgeschwindigkeit beim fahrenden Schiff	365
17.1.4	Temperatur- und Konzentrationsdifferenzen	365
17.2	Werkstoffseitige Einflußgrößen und Beschichtungen	366
17.3	Kathodischer Korrosionsschutz des Unterwasserschiffes	368
17.3.1	Berechnung des Schutzstrombedarfs	369

XVIII Inhalt

17.3.2	Schutz durch galvanische Anoden	370
17.3.2.1	Größe und Anzahl der Anoden	370
17.3.2.2	Anordnung der Anoden	372
17.3.2.3	Kontrolle des kathodischen Schutzes	373
17.3.3	Schutz durch Fremdstrom	373
17.3.3.1	Stromversorgung und Schutzgleichrichter	374
17.3.3.2	Fremdstrom-Anoden und Meßelektroden	375
17.3.3.3	Anordnung der Anoden und Meßelektroden	377
17.4	Kathodischer Innenschutz von Tanks und Behältern	378
17.5	Kathodischer Schutz von Wärmetauschern, Kondensatoren und Rohrleitungen	380
17.6	Literatur	381
18	Kathodischer Schutz von Bohrloch-Verrohrungen	383
	B. LEUTNER	
18.1	Beschreibung des Schutzobjektes	383
18.2	Ursachen der Korrosionsgefährdung	383
18.2.1	Ausbildung von Korrosionselementen	383
18.2.2	Freie Korrosion durch korrosive Erdschichten	384
18.2.3	Bedingungen für Spannungsrißkorrosion	385
18.2.4	Korrosion durch Fremdbeeinflussung	385
18.3	Messungen zur Beurteilung der Korrosion und des Korrosionsschutzes von Bohrloch-Verrohrungen	385
18.3.1	Untersuchungen auf Korrosionsschäden	386
18.3.2	Messung von ΔU -Profilen	386
18.3.3	Messung des Tafel-Potentials	388
18.4	Planung und Bau von kathodischen Schutzanlagen	389
18.5	Inbetriebnahme und Überwachung	391
18.6	Literatur	393
19	Kathodischer Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl in Betonbauten	395
	B. ISECKE	
19.1	Das Korrosionssystem Stahl/Beton	395
19.2	Ursache der Korrosion von Stahl in Beton	396
19.3	Elektrolytische Eigenschaften des Betons	396
19.4	Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz	397

19.5	Anwenden des kathodischen Korrosionsschutzes bei Stahlbeton-Konstruktionen	399
19.5.1	Planung und Ausführung	399
19.5.2	Ermittlung des Korrosionszustandes der Bewehrung	400
19.5.3	Metallenleitende Durchverbindung	401
19.5.4	Bautechnische Ausführungen und Anodensysteme	401
19.5.5	Betonersatz-Systeme bei kathodischem Schutz	403
19.5.6	Inbetriebnahme und Kontrolle	403
19.6	Streustromgefährdung und Schutzmaßnahmen	406
19.7	Literatur	406
20	Kathodischer Innenschutz von Wasserbehältern	409
	G. FRANKE und U. HEINZELMANN	
20.1	Beschreibung und Funktion der Schutzobjekte	409
20.1.1	Werkstoffe für die Schutzobjekte und Installationskomponenten	410
20.1.2	Arten der Auskleidungen und Beschichtungen	411
20.1.3	Voraussetzungen für den kathodischen Innenschutz	411
20.1.4	Maßnahmen zur Vermeidung einer anodischen Beeinflussung	411
20.1.5	Maßnahmen zur Vermeidung einer Gefährdung durch Wasserstoff	413
20.2	Schutz mit galvanischen Anoden	415
20.3	Schutz mit Fremdstrom	415
20.3.1	Anlagen mit Potentialregelung	416
20.3.2	Anlagen mit Stromregelung nach dem Wasserdurchsatz	417
20.4	Beschreibung von Schutzobjekten	418
20.4.1	Wassererwärmer mit Emailauskleidung	418
20.4.2	Wassererwärmer mit elektrolytischer Wasserbehandlung	423
20.4.3	Wasserspeicher	425
20.4.4	Filterbehälter	428
20.5	Anforderungen bei Trinkwasser	429
20.6	Literatur	429
21	Elektrochemischer Korrosionsschutz für die Innenflächen von Apparaten, Behältern und Rohren	431
	H. GRÄFEN, U. HEINZELMANN und F. PAULEKAT	
21.1	Besondere Maßnahmen für den elektrochemischen Innenschutz	431
21.2	Kathodischer Schutz mit galvanischen Anoden	433
21.3	Kathodischer Schutz mit Fremdstrom	433
21.3.1	Kathodischer Innenschutz von Naßöltanks	434

XX	Inhalt	
21.3.2	Kathodischer Innenschutz eines Naßgasometers	435
21.3.3	Kathodischer Innenschutz meerwassergekühlter Kraftwerkskondensatoren	435
21.3.4	Kathodischer Innenschutz von Wasserkraft-Turbinen	437
21.3.5	Kathodischer Innenschutz von Rohren	440
21.4	Anodischer Korrosionsschutz von Anlagen in der chemischen Industrie	446
21.4.1	Besondere Merkmale des anodischen Schutzes	446
21.4.2	Anodischer Schutz mit Fremdstrom	446
21.4.2.1	Vorbereitende Untersuchungen	446
21.4.2.2	Schutz gegen Säuren	448
21.4.2.3	Schutz gegen Medien unterschiedlicher Zusammensetzung	450
21.4.2.4	Schutz gegen Alkalilaugen	450
21.4.2.5	Schutzkombinationen von Fremdstrom und Inhibitoren	453
21.4.3	Schutzwirkung von Lokalkathoden	453
21.4.4	Schutzwirkung von Inhibitoren	454
21.5	Trend in der Anwendung des elektrochemischen Innenschutzes	455
21.6	Literatur	456
22	Sicherheit und Wirtschaftlichkeit	459
	W. v. BAECKMANN und J. GEISER	
22.1	Sicherheit und Schadensstatistik	459
22.2	Allgemeines zur Wirtschaftlichkeit	461
22.3	Wirtschaftlichkeit des kathodischen Schutzes für erdverlegte Rohrleitungen	462
22.3.1	Galvanische Anoden	462
22.3.2	Fremdstrom-Anoden	463
22.3.3	Verlängerung der Nutzungsdauer der Rohrleitung	465
22.4	Korrosionsschutz im Meerwasser	467
22.5	Kosten des Innenschutzes	468
22.5.1	Kathodischer Innenschutz	468
22.5.2	Anodischer Innenschutz	469
22.6	Literatur	469
23	Beeinflussung von längsleitfähigen Rohrleitungen durch Hochspannungsanlagen	471
	H.-U. PAUL und H.-G. SCHÖNEICH	
23.1	Kapazitive Beeinflussung	472
23.2	Ohmsche Beeinflussung	473

23.2.1	Berührung unter Spannung stehender Leiter	473
23.2.2	Spannungstrichter von Mastern	474
23.3	Induktive Beeinflussung	476
23.3.1	Ursachen und Einflußgrößen	476
23.3.2	Berechnung der Rohrleitungspotentiale bei Parallelführung von Hochspannung-Leitung und Rohrleitung	477
23.3.3	Vollständige Näherung mit schrägen Abschnitten	481
23.3.4	Vereinfachte Berechnungsmethoden	482
23.3.4.1	Beeinflussung durch Erdkurzschlußströme und durch Fahrleitungsströme	482
23.3.4.2	Beeinflussung im Normalbetrieb von Drehstrom-Freileitungen	482
23.3.5	Darstellung der Rohrleitungskenngrößen	485
23.4	Grenzlängen und Grenzabstände	487
23.4.1	Zulässige Berührungsspannungen	488
23.4.1.1	Kurzzeit-Beeinflussung	488
23.4.1.2	Langzeit-Beeinflussung	489
23.4.2	Ermitteln der Rohrleitungspotentiale	489
23.5	Schutzmaßnahmen gegen unzulässig hohe Rohrleitungspotentiale	489
23.5.1	Kurzzeit-Beeinflussung	489
23.5.2	Langzeit-Beeinflussung	490
23.5.3	Schutzmaßnahme durch Erden	490
23.5.4	Erdungsmaßnahmen und kathodischer Schutz	491
23.5.4.1	Abgrenzeinheiten bei Kurzzeit-Beeinflussung	492
23.5.4.2	Abgrenzeinheiten für Langzeit- und Kurzzeit-Beeinflussung	492
23.6	Messung der Rohrleitungspotentiale	493
23.6.1	Messung der Kurzzeit-Beeinflussung	493
23.6.1.1	Schwebungsmethode	493
23.6.1.2	Umpolungsmethode	494
23.6.1.3	Digitales Meßverfahren	494
23.6.2	Messung der Langzeit-Beeinflussung	495
23.6.3	Meßergebnisse von Rohrleitungspotentialen	495
23.7	Literatur	497
24	Strom- und Spannungsverteilung im stationären elektrischen Feld	499
	W. V. BAECKMANN und W. SCHWENK	
24.1	Der Ausbreitungswiderstand von Anoden und Erden	499
24.2	Beeinflussungsfaktor bei mehreren Anoden	508
24.3	Potentialverteilung an der Erdoberfläche	509
24.3.1	Bodenwiderstandsformel	509
24.3.2	Anodischer Spannungstrichter	510

XXII Inhalt

24.3.3 Kathodischer Spannungstrichter im Zylinderfeld 510
24.3.4 Beeinflussung durch den kathodischen Spannungstrichter 511
24.4 Berechnung der Strom- und Potentialverteilung 512
24.4.1 Allgemeine Beziehungen für ein Zwei-Leiter-Modell 512
24.4.2 Berechnung von Erdern mit Längswiderständen 513
24.4.3 Schutzbereich einer Rohrleitung bei kathodischem Korrosionsschutz
und Schutzstrombedarf 514
24.4.4 Potentialverteilung bei Überschutz 516
24.4.5 Kathodischer Schutz in engen Spalten 517
24.4.6 Strom- und Potentialverteilung im Rohrrinneren an Isolierstücken 518
24.5 Allgemeine Hinweise zur Stromverteilung 520
24.6 Literatur 521

Register 523

Anzeigenteil

Verzeichnis der Autoren

Dipl.-Phys. W. v. BAECKMANN
Ulmenstraße 12
45133 Essen

Dipl.-Ing. U. BETTE
c/o Technische Akademie Wuppertal
Postfach 10 04 09
42004 Wuppertal

Dr.-Ing. C. DÖRNEMANN
c/o RWE Energie AG
Kruppstraße 5
45128 Essen

Dipl.-Ing. D. ENGEL
c/o Germanischer Lloyd AG
Postfach 11 16 06
20416 Hamburg

G. FRANKE
c/o NORSK HYDRO
Magnesiumgesellschaft mbH
Industriestraße 61
46240 Bottrop

D. FUNK
c/o Ruhrgas AG
45177 Essen

Dr.-Ing. J. GEISER
c/o Ruhrgas AG
45177 Essen

Ing. C. GEY
Holzmarkenweg 4
28757 Bremen

Prof. Dr. Dr. H. GRÄFEN
Ursulastraße 9
50129 Bergheim

Dipl. TH. HEIM
Korrosionstechnik
Rubensweg 1
40724 Hilden

Dipl.-Chem. U. HEINZELMANN
c/o Guldager Elektrolyse GmbH
Daimler-Straße 13
45891 Gelsenkirchen

Dipl.-Ing. T. HOFFMANN
c/o Deutsche Telekom AG
Zentrale/TN 217
64307 Darmstadt

Dipl.-Ing. K. HORRAS
Billrothstraße 6
42283 Wuppertal

Prof. Dr. B. ISECKE
c/o Bundesanstalt für Materialforschung
und Materialprüfung
Unter den Eichen 87
12203 Berlin

Dipl.-Ing. B. LEUTNER
Im Wiesengrund 7
30880 Laatzen

XXIV Verzeichnis der Autoren

Dr. H.-U. PAUL
c/o RWE Energie AG
Kruppstraße 5
45128 Essen

Ing. F. PAULEKAT
Hendrik-Witte-Straße 14
45128 Essen

Dr. B. RICHTER
c/o Germanischer Lloyd AG
Postfach 11 16 06
20416 Hamburg

Dipl.-Ing. G. RIEGER
Werheide 7
51427 Bergisch Gladbach

Dr. H.-G. SCHÖNEICH
c/o Ruhrgas AG
45177 Essen

Dipl.-Ing. F. SCHWARZBAUER
c/o Stadtwerke München
Dachauer Straße 110
80287 München

Prof. Dr. W. SCHWENK
Scheffelstraße 26
47057 Duisburg

Dipl.-Ing. W. VESPER
c/o Quante AG Telekommunikation
Uellendahler Straße 353
42109 Wuppertal

Verzeichnis häufig benutzter Formelzeichen, Konstanten und Symbole

Zeichen	Bedeutung	Gebräuchliche Maßeinheit
a	Abstand, Länge	cm, m
a	Annuitätsfaktor	
b	Abstand, Länge	cm, m
$b_{+/-}$	Tafelneigung (dekad.-log.)	mV
B	Beweglichkeit	$\text{cm}^2 \text{ mol J}^{-1} \text{ s}^{-1}$
$B_{0,1,E}$	Bewertungszahlsumme (Erdbogenaggressivität)	
$c(X_i)$	Konzentration der Stoffart X_i	mol cm^{-3} , mol L^{-1}
C	Kapazität	$\text{F} = \Omega^{-1} \text{ s}$
C	Konstante, allgemein	
C_D	Doppelschichtkapazität einer Elektrode	$\mu\text{F cm}^{-2}$
d	Abstand, Durchmesser	mm, m
D_i	Diffusionskonstante der Stoffart X_i	$\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$
E	elektrische Feldstärke	V cm^{-1}
f	Frequenz	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
f_a	Umrechnungsfaktor	$\text{mm a}^{-1}/(\text{mA cm}^{-2})$
f_b	Umrechnungsfaktor	$\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}/(\text{mA cm}^{-2})$
f_c	Umrechnungsfaktor	$\text{mm a}^{-1}/(\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1})$
f_v	Umrechnungsfaktor	$\text{L m}^{-2} \text{ h}^{-1}/(\text{mA cm}^{-2})$
F	Kraft	N
F	Beeinflussungsfaktor, Faktor	
F	relativierter Ausbreitungswiderstand	cm^{-1} , m^{-1}
\tilde{F}	Faraday-Konstante = $96485 \text{ A s mol}^{-1}$ = $26,8 \text{ A h mol}^{-1}$	
g	Grenzstromdichte	A m^{-2}
G	Grenzstrom	A
G	elektrischer Leitwert, Ableitung	$\text{S} = \Omega^{-1}$
G'	Ableitungsbelag	S m^{-1} , S km^{-1}
ΔG	Freie Bildungsenthalpie	J mol^{-1}
h	Höhe, Erddeckung	cm, m
i	Laufzahl	
I	Stromstärke	A

Zeichen	Bedeutung	Gebräuchliche Maßeinheit
I_s	Schutzstrombedarf, Schutzstrom	A
I'	Strombelag	A km ⁻¹
j_H	H-Permeationsstromdichte	L cm ⁻² min ⁻¹
j_i	Transportrate der Stoffart X _i	mol cm ⁻² s ⁻¹
J	Stromdichte	A m ⁻² , mA cm ⁻²
J_{akt}	Aktivierungsstromdichte	A m ⁻² , mA cm ⁻²
J_{max}	maximale Stromdichte einer galvanischen Anode	A m ⁻² , mA cm ⁻²
J_{pas}, J_p	Passivierungsstromdichte	A m ⁻² , mA cm ⁻²
J_s	Schutzstromdichte, Mindestschutzstromdichte	A m ⁻² , mA cm ⁻²
J_o	Austauschstromdichte	A m ⁻² , mA cm ⁻²
k	Polarisationsparameter	cm, m
k	spezifische Kosten	DM/Einheit
K	Spannungsintensität	N mm ^{-3/2}
K	Gleichgewichtskonstante	(mol L ⁻¹) ^(Σ<i>n_i</i>)
K	Kosten	DM
$K_{S,x}$	Säurekapazität bis pH <i>x</i>	mol L ⁻¹
$K_{B,x}$	Basekapazität bis pH <i>x</i>	mol L ⁻¹
K_w	Ionenprodukt des Wassers bei 25 °C = 10 ⁻¹⁴ mol ² L ⁻²	
K_w	Reaktionskonstante bei Sauerstoffkorrosion	mm
l	Länge, Abstand	cm, m, km
l_i	Ionenäquivalentleitfähigkeit der Stoffart X _i (nicht verwechseln mit Λ_i oder u_i)	S cm ² mol ⁻¹
l_k	charakteristische Länge, Kennlänge eines Erders oder Rohrleitungsabschnittes, siehe auch L_c	m, km
L	Länge eines betrachteten Leitungs- oder Streckenabschnittes	km
L	charakteristische Länge einer Fehlstelle, Meßprobe (Erder) – (nicht verwechseln mit L_c)	cm, m
L	Schutzbereichlänge einer Rohrleitung	km
L	Induktivität	H = Ω s
L_c	charakteristische Länge, Kennlänge eines Streckenabschnittes (synonym mit l_k)	m, km
L_{Gr}	Grenzlänge	m, km
m	Masse	g, kg
m'	längenbezogene Rohrmasse	kg m ⁻¹
M	Atom-, Molmasse	g mol ⁻¹
M'	Gegeninduktivitätsbelag	H km ⁻¹
n	Anzahl, Laufzahl	

Zeichen	Bedeutung	Gebräuchliche Maßeinheit
n'	längenbezogene Anzahl	m^{-1} , km^{-1}
n_i	stöchiometrischer Koeffizient, Ladungszahl der Stoffart X_i	
N	Fehlstellendichte	m^{-2}
N	reziproke Neigung von $\ln J $ – U-Kurven	mV
p	Druck, Gasdruck	bar
$p(X_i)$	Partialdruck der Stoffart X_i	bar
P	Permeationskoeffizient	$cm^2 s^{-1} bar^{-1}$, $g cm^{-1} h^{-1} bar^{-1}$
Q	elektrische Ladung	A s, A h
Q'	Strominhalt galvanischer Anoden, massenbezogener	A h kg^{-1}
Q''	Strominhalt galvanischer Anoden, volumenbezogener	A h dm^{-3}
r	Radius, Abstand	cm, m
r	Reduktionsfaktor	
r_p	spezifischer Polarisationswiderstand	Ωm^2
r_u	spezifischer Umhüllungswiderstand	Ωm^2
R	elektrischer Widerstand, Ausbreitungswiderstand	Ω
R	Gaskonstante = $8,31 J mol^{-1} K^{-1}$	
R'	Widerstandsbelag	Ωm^{-1} , Ωkm^{-1}
R_m	Zugfestigkeit	N mm^{-2}
R_p	Polarisationswiderstand	Ω
$R_{p0,2}$	Zugspannung für 0,2% Dehnung	N mm^{-2}
R_u	Umhüllungswiderstand	Ω
R_Ω	Ohmscher Widerstand bei Polarisation	Ω
s	Abstand, Dicke, Dickenabnahme	mm, cm
S	Fläche, Querschnitt	m^2
t	Zeit	s, h, a
t	Tiefe	cm, m
T	Temperatur	$^{\circ}C$, K
u_i	elektrochemische Beweglichkeit der Stoffart X_i	$V^{-1} cm^2 s^{-1}$
U	Spannung, Potential	V
U_{aus}	Ausschaltpotential	V
U_B	Berührungsspannung	V
U''_B	Potentialdifferenz zwischen Bezugselektroden parallel über die Rohrleitung	mV, V
$U^{\perp}_B, \Delta U_x$	Potentialdifferenz zwischen Bezugselektroden senkrecht zur Rohrleitung (Abstand x)	mV, V
$U_{Cu/CuSO_4}$	Potential, bezogen auf Cu/CuSO ₄ -Elektrode	mV, V

Zeichen	Bedeutung	Gebräuchliche Maßeinheit
U_{ein}	Einschaltpotential	V
U_{H}	Potential, bezogen auf Standard-Wasserstoffelektrode	mV, V
U_{IR}	Ohmscher Spannungsabfall	V
$U_{\text{IR-frei}}$	IR-freies Potential	V
U_{R}	Ruhepotential	V
U_{s}	Schutzpotential	V
U_{T}	Treibspannung	V
U_{um}	Umschaltpotential	V
U_{o}	Leerlaufspannung (EMK)	V
v, v_{int}	flächenbezogene Massenverluste bzw. integraler Wert	$\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$
V	Volumen	$\text{cm}^3, \text{dm}^3, \text{L}$
\mathcal{V}	Atom-, Molvolumen	$\text{m}^3 \text{mol}^{-1}, \text{L mol}^{-1}$
W	Wagner-Zahl	
w, w_{int}	Abtragungsgeschwindigkeit bzw. integraler Wert	$\mu\text{m a}^{-1}, \text{mm a}^{-1}$
w	Wirkungsgrad	(%)
w	Windungszahl	
w, w_{int}	Abtragsrate bzw. integraler Wert	mm a^{-1}
w_i	Geschwindigkeit der Stoffart X_i	cm s^{-1}
x	Ortskoordinate	m, km
Y'	Admittanzbelag	S km^{-1}
z_i	Ladungszahl der Stoffart X_i	
Z	Impedanz	Ω
Z	Wellenwiderstand	Ω
Z_i	Bewertungszahl (Bodenaggressivität)	
α	Symmetriefaktor, Durchtrittsfaktor	
α	Wegkonstante (Gleichstrom)	km^{-1}
α	Stromausbeutefaktor bei galvanischen Anoden und bei Wechselstromkorrosion	in %
α	Geometriefaktor einer Fehlstelle, Meßprobe (Erder)	–
β	Achsenverhältnis einer Fehlstelle, Meßprobe (Erder)	–
$\beta_{+/-}$	Tafel-Neigung (nat.-log.)	mV
γ	Übertragungsmaß	km^{-1}
δ	Diffusionsschichtdicke	cm
$\epsilon, \epsilon_{\text{r}}$	Dielektrizitätskonstante, relative elektrische Feldkonstante	
ϵ_{o}	$= 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F cm}^{-1}$	