

Inhaltsübersicht

Verzeichnis der Autoren	XX
Verzeichnis der benutzten Symbole	XXI

Kapitel I

Historische Entwicklung des Korrosionsschutzes

von W. v. BAECKMANN

1. Korrosionsschutz für erdverlegte Rohrleitungen	1
2. Korrosionsschutz durch Anstriche	9
3. Geschichte des kathodischen Schutzes	11
4. Entwicklung des Streustromschutzes	16
5. Literatur	20

Kapitel II

Grundlagen der Korrosion und des elektrochemischen Korrosionsschutzes

von W. SCHWENK

1. Theorie der elektrochemischen Vorgänge bei der Korrosion	22
1.1. Für die Korrosion wichtige Eigenschaften der Metalle und der wäßrigen Korrosionsmedien	22
1.2. Elektrochemische Teilreaktionen bei der Korrosion	25
1.3. Elektrochemische Thermodynamik	26
1.4. Elektrochemische Kinetik	29
1.5. Mischelektroden	34
2. Stromdichte-Potential-Beziehungen und Einflußgrößen der Reaktionspartner	38
2.1. Anodische Teilstromdichte-Potential-Kurven aktiver Metalle	38
2.2. Anodische Teilstromdichte-Potential-Kurven passiver Metalle	40
2.3. Werkstoffseitige Einflußgrößen für Korrosionsvorgänge	42
2.4. Mediumseitige Einflußgrößen für Korrosionsvorgänge	45
3. Ausbildung und Wirkung von Korrosionselementen	47
3.1. Ursachen für die Ausbildung heterogener Oberflächenzustände	48
3.2. Elementbildung und örtliche Korrosion durch Fremdverbindungen und äußere Beeinflussung	51
4. Beurteilung der Bodenaggressivität	52
5. Korrosionsschutzverfahren	59
5.1. Schutzverfahren und ihre Kombinationsmöglichkeiten	59
5.2. Kriterien für den elektrochemischen Schutz	61

X Inhaltsübersicht

6.	Eigenschaften der Meßverfahren und Anforderungen	62
6.1.	Die Messung von Stromstärke-Potential-Kurven	63
6.2.	Die Potentialmessung stromdurchflossener Elektroden	64
7.	Literatur	69

Kapitel III

Passiver Korrosionsschutz

von G. HEIM

1.	Allgemeines	71
2.	Elektrische Eigenschaften	72
3.	Mechanische Eigenschaften	77
4.	Physikalisch-chemische Eigenschaften	80
5.	Spezifischer Umhüllungswiderstand und kathodische Schutzstromdichte	83
6.	Einwirkung des kathodischen Schutzstromes auf die Beschichtung	86
7.	Anorganische Beschichtungen	89
8.	Wirtschaftliche Gesichtspunkte	90
9.	Literatur	91

Kapitel IV

Meßtechnik

von W. v. BAECKMANN

1.	Allgemeines	93
2.	Die Messung des Potentials	94
2.1.	Potentialmeßgeräte	97
2.1.1.	Zeigermeßgeräte	98
2.1.2.	Elektronische Verstärkervoltmeter	100
2.1.3.	Registrierende Meßgeräte	100
2.2.	Mittelwertbildung	102
2.3.	Wechselspannungsmessung und -beeinflussung	102
2.4.	Bezugselektroden	103
3.	Strommessung	105
3.1.	Rohrstrommessung	105
3.2.	Meßgeräte	108
3.3.	Die Messung der Schutzstromdichte	109
4.	Die Widerstandsmessung	110
4.1.	Messung des spezifischen Bodenwiderstandes	111

4.2.	Messung des Erdausbreitungswiderstandes	115
4.3.	Widerstandsmeßgeräte	116
5.	Fehlerortung	118
5.1.	Fehlerortung mit Gleichstrom	119
5.2.	Fehlerortung mit Wechselstrom	121
6.	Fehlstellenortung	122
7.	Porenprüfung mit Hochspannung	123
8.	Literatur	124

Kapitel V

Eigenschaften galvanischer Anoden

von H. STEIN

1.	Anodenwerkstoffe	127
1.1.	Aluminiumanoden	127
1.2.	Magnesiumanoden	128
1.3.	Zinkanoden	129
1.4.	Mehrschichten-Anoden aus verschiedenen Werkstoffen	130
1.5.	Lebensdauer galvanischer Anoden	130
2.	Form der Anode	131
3.	Umgebender Elektrolyt	131
3.1.	Stromabgabe im Erdboden	131
3.2.	Anoden für den Schutz im Erdboden	132
3.3.	Bettungsmassen	135
3.4.	Süßwasser	137
3.5.	Seewasser	138
4.	Vor- und Nachteile von galvanischen Anoden.	139
5.	Literatur	140

Kapitel VI

Fremdstrom-Schutzanlagen

von F. WOLF

1.	Standort und Unterbringung	142
1.1.	Gleichrichterschrank aus Kunstgranit	143
1.2.	Gleichrichterschrank aus Stahlblech	144
1.3.	Gleichrichterschrank aus Kunststoff	144
2.	Dimensionierung des Gleichrichters	145
3.	Auswahl der Dioden	146
4.	Wechselstrom- oder Drehstrom-Gleichrichter	147

1.3.	Elektrischer Widerstand der Rohrumhüllung	177
1.4.	Konstruktive Maßnahmen	177
1.4.1.	Isolierstücke	178
1.4.2.	Maßnahmen an elektrisch angetriebenen Schiebern und Regelventilen	180
1.4.3.	Maßnahmen bei Rohrdurchführungen durch Betonwände	181
1.4.4.	Metallische Berührungen mit kreuzenden Leitungen und Kabeln . .	181
1.4.5.	Meßstellen	182
2.	Planung des kathodischen Schutzes	183
2.1.	Schutzbereich einer kathodischen Schutzanlage	183
2.2.	Standortwahl einer kathodischen Schutzanlage	185
2.3.	Durchführung einer Probeeinspeisung	186
2.4.	Beispiel für die Planung des kathodischen Schutzes einer neu zu ver- legenden Rohrleitung	187
2.5.	Beispiel für die Planung des kathodischen Schutzes einer älteren Rohrleitung	187
3.	Nachmessung und Überwachung	188
4.	Jährliche Nachmessung	188
5.	Verteilungsnetze	189
6.	Fernheizleitungen	189
7.	Schutzrohre	191
8.	Bohrlochverrohrungen	192
8.1.	Probeeinspeisung	192
8.2.	Aufnahme des Rohrstromprofils	193
9.	Literatur	194

Kapitel IX

Lagerbehälter und Tankläger

von K. BIERENBRODT und R. GÜNTHER

1.	Spezielle Probleme beim Behälterschutz	195
2.	Vorbereitende Maßnahmen	195
3.	Lagerbehälter	197
3.1.	Schutzstrombedingung, Beurteilung der Schutzobjekte, Kathoden- und Anodenanschlüsse	197
3.2.	Schutz mit galvanischen Anoden oder Fremdstromschutz	201
3.3.	Dimensionierung von kathodischen Schutzanlagen an Hand von praktischen Beispielen	202
3.3.1.	Kathodische Schutzanlage für einen Heizölbehälter mit galvanischen Anoden	202
3.3.2.	Kathodische Fremdstrom-Schutzanlage für eine Tankstelle	205

XIV Inhaltsübersicht

4.	Tankläger und Betankungsanlagen	207
5.	Besonderheiten beim kathodischen Schutz von Lagerbehältern und Rohrleitungen im Bereich von Eisenbahnen	209
5.1.	Allgemeines	209
5.2.	Potentialausgleichleitungen, Isolierstücke in Rohrleitungen, Isolierstöße in den Gleisanlagen	209
5.3.	Bahnerde, Schutzerdung an elektrischen Bahnen, Rückströme, Schienenpotential	210
5.4.	Blitzschutz, Isolierflansche und Funkenstrecken	211
5.5.	Schutzstromverteilung, Beeinflussung	212
5.6.	Arbeiten an Rohrleitungen im Bahnbereich oder in Bahnnahe	212
6.	Berücksichtigung anderer Schutzmaßnahmen bei kathodischem Schutz	212
7.	Betrieb und Wartung von kathodischen Schutzanlagen	213
8.	Literatur	213

Kapitel X

Streustrombeeinflussung und Streustromschutz

von J. POHL

1.	Ursachen der Streustrombeeinflussung	216
1.1.	Korrosion durch Gleich- und Wechselströme	216
1.2.	Streustrom erzeugende Gleichstromanlagen	216
1.3.	Allgemeine Schutzmaßnahmen an Gleichstromanlagen	217
2.	Gleichstrombahnen als Verursacher von Streuströmen	218
2.1.	Bestimmungen für Gleichstrombahnen	218
2.2.	Berechnung der Schienenspannungen	221
2.2.1.	Berechnungsgrundlagen	221
2.2.2.	Spannungsgefälle auf auslaufenden Strecken	223
2.2.3.	Potentialverteilung im Netzkern	224
2.3.	Abschätzung der Größe der Streuströme	227
2.4.	Besonderheiten bei Tunnelanlagen	229
3.	Schutzmaßnahmen an beeinflussten Anlagen	231
3.1.	Streustrom-Ableitung und -Absaugung	231
3.2.	Gemeinsame Streustromschutzmaßnahmen in Stadtgebieten	238
3.3.	Streustromschutz einzelner gut umhüllter Leitungen	239
3.4.	Messung bei Streustromschutzmaßnahmen und Überwachung	240
4.	Literatur	240

*Kapitel XI***Fernmeldekabel**

von K. H. ORTMANN und G. FIGUR

1.	Passiver Korrosionsschutz	242
2.	Verlegung	243
3.	Streustromschutz	244
4.	Kathodischer Schutz mit Fremdstromanoden	246
5.	Literatur	248

*Kapitel XII***Starkstromkabel**

von W. v. BAECKMANN und J. POHL

1.	Streustromschutz	249
2.	Gasaußendruckkabel im Stahlrohr	251
2.1.	Unmittelbare Verbindung des Stahlrohres mit der Erdungsanlage der Umspannstation	251
2.2.	Verbindung des Stahlrohres mit den Erdungsanlagen über Ohmsche Widerstände.	253
2.3.	Verbindung des Stahlrohres mit den Erdungsanlagen über Silicium- dioden	254
2.4.	Verbindung über Nickel-Cadmium-Zelle.	256
3.	Literatur	258

*Kapitel XIII***Hochspannungsbeeinflussung kathodisch geschützter Systeme**

von R. BUCKEL und G. RÖHRL

1.	Kapazitive Beeinflussung	259
2.	Ohmsche Beeinflussung	259
3.	Induktive Beeinflussung	262
4.	Theorie der induktiven Beeinflussung	263
5.	Schutzmaßnahmen gegen Ohmsche Beeinflussung	270
5.1.	Kraft- und Umspannungswerke, Hochspannungsmaste	270
5.2.	Wechselstrombahnen	270
6.	Schutzmaßnahmen gegen kapazitive Beeinflussung	272
7.	Schutzmaßnahmen gegen induktive Beeinflussung	272
8.	Literatur	273

*Kapitel XIV***Schiffe und marine Stahlbauwerke**

von E. EBERIUS

1.	Einflußgrößen auf die Korrosion und den Korrosionsschutz	274
1.1.	Einfluß des Sauerstoffs	274
1.2.	Einfluß der Zusammensetzung des Wassers	275
1.3.	Einfluß der Temperatur	278
1.4.	Einfluß der Geschwindigkeit	279
1.5.	Einfluß des Werkstoffs	279
1.6.	Einfluß der Vorbehandlung und des Anstrichs	279
2.	Anwendung des kathodischen Schutzverfahrens	281
2.1.	Galvanische Anoden	282
2.1.1.	Anodenmaterial	282
2.1.1.1.	Zinkanoden	282
2.1.1.2.	Aluminiumanoden	283
2.1.1.3.	Magnesiumanoden	284
2.1.2.	Form der Anoden	284
2.1.3.	Befestigung der Anoden	285
2.2.	Schutz durch Fremdstrom	286
2.2.1.	Gleichrichteranlagen	286
2.2.2.	Fremdstromanoden	287
2.2.2.1.	Graphit-Anoden	288
2.2.2.2.	Ferrosilicium-Anoden	288
2.2.2.3.	Blei-Anoden	289
2.2.2.4.	Platinierte Titan-Anoden	291
2.2.2.5.	Schleppanoden	292
2.3.	Bezugselektroden	293
3.	Schutzobjekte	294
3.1.	Schiffe	294
3.1.1.	Schutz mit galvanischen Anoden	295
3.1.2.	Schutz mit Fremdstrom	297
3.2.	Schiffschutz am Kai	301
3.3.	Innenschutz von Tanks mit Opferanoden	302
3.4.	Bohr-, Hub- und Förderinseln	307
3.5.	Küstenbauten	309
3.6.	Hafenbauten	311
3.6.1.	Stahlpundwände und Stahlpfähle	311
3.6.2.	Schleusentore und Schwimmdocks	314
3.6.3.	Schutz von Verlade- und Löschrücken	315
3.6.4.	Dalben	317
4.	Literatur	318

*Kapitel XV***Innenschutz von Warmwasseranlagen mit galvanischen Anoden**

von E. HERRE

1.	Werkstoffe für Opferanoden	320
2.	Gebrauchswerte für Magnesiumanoden	321
3.	Elektrochemische Eigenschaften	322
4.	Eigenkorrosion der Magnesiumanoden	323
5.	Anodenverbrauch	324
6.	Wasserstoffentwicklung in Warmwasserbereitern bei Verwendung von Magnesiumanoden	325
7.	Praktischer Einsatz von Magnesiumanoden	326
8.	Literatur	329

*Kapitel XVI***Innenschutz von Kalt- und Warmwasseranlagen mit Fremdstrom**

von U. HEINZELMANN

1.	Wirkungsweise der elektrolytischen Wasserbehandlung	330
1.1.	Umsetzungen an den Kathodenflächen (Boilerwandungen und Heizflächen)	331
1.2.	Umsetzungen an den Anoden	332
2.	Ausführung von elektrolytischen Korrosionsschutzanlagen	336
3.	Anwendungsbereich und Anwendungsmöglichkeiten	338
4.	Grenzen der Einsatzmöglichkeit	339
5.	Unerwünschte Sekundärreaktionen	340
6.	Literatur	341

*Kapitel XVII***Innenschutz von Industrieanlagen**

von J.-W. KÜHN v. BURGSDORFF und H. RICHTER

1.	Allgemeines	342
2.	Passiver Schutz	342
3.	Behälter-Innenschutz	343
3.1.	Telleranode	343
3.2.	Stabanode	344
3.3.	Korbanode	345

XVIII Inhaltsübersicht

4.	Rohrleitungs-Innenschutz	347
4.1.	Einzelanoden	347
4.2.	Drahtanode	349
5.	Potentialmessung	351
6.	Betriebsbedingungen	352
7.	Wirtschaftlichkeit	353
8.	Literatur	353

Kapitel XVIII

Anodischer Korrosionsschutz

von H. GRÄFEN

1.	Elektrochemische Grundlagen	355
2.	Anodischer Schutz in sauren und neutralen Lösungen	356
2.1.	Schutz durch Fremdstrom	356
2.2.	Schutz durch Ausbildung von Lokalkathoden	360
2.3.	Schutz durch Inhibitoren	361
3.	Anodischer Schutz in alkalischen Lösungen	362
4.	Anodischer Schutz bei Lokalkorrosionsbedingungen	362
4.1.	Anodischer Schutz in Gegenwart von Halogenionen	362
4.2.	Anodischer Schutz bei der interkristallinen Spannungsrißkorrosion von C-Stählen in Alkalilösungen	362
5.	Literatur	364

Kapitel XIX

Wirtschaftlichkeit und Kosten

von W. v. BAECKMANN

1.	Allgemeine Gesichtspunkte	366
2.	Kosten des kathodischen Rohrschutzes	368
2.1.	Galvanische Anoden	368
2.2.	Fremdstromschutz	370
3.	Verlängerung der Rohrleitungslebensdauer	372
4.	Rohrumhüllung	375
5.	Innenschutz	376
5.1.	Kathodischer Innenschutz	376
5.2.	Anodischer Innenschutz	376
6.	Literatur	377

Kapitel XX

Mathematischer Anhang

Herleitung wichtiger Formeln und Tabellen

VON W. V. BAECKMANN und J. POHL

1.	Erdausbreitungswiderstand	378
2.	Beeinflussungsfaktor bei mehreren Anoden	381
3.	Potentialverteilung an der Erdoberfläche	382
3.1.	Bodenwiderstandsformel	382
3.2.	Anodischer Spannungstrichter	383
3.3.	Fehlstellen in der Umhüllung	383
3.4.	Zylindrischer Spannungstrichter	385
4.	Berechnung der Stromentweichung aus den Fahrschienen einer oberirdischen Gleichstrombahn	387
4.1.	System Fahrschienen – Rohrleitung	387
4.1.1.	Konzentrierte Stromeinspeisung	387
4.1.1.1.	Fahrschienen und Rohrleitung an keiner Stelle verbunden	389
4.1.1.2.	Fahrschienen und Rohrleitung bei $x = 0$ widerstandslos verbunden, Fall der Streustromableitung	389
4.1.1.3.	Fahrschienen und Rohrleitung bei $x = L$ widerstandslos verbunden	389
4.1.1.4.	Fahrschienen und Rohrleitung bei $x = 0$ und $= L$ widerstandslos verbunden	390
4.2.	System Fahrschienen – Erdboden	390
4.2.1.	Konzentrierte Stromeinspeisung	390
4.2.2.	Gleichmäßiger Strombelag	391
5.	Berechnung von Erdern mit Längswiderständen bei Gleichstrom-Einspeisung	393
5.1.	Endlicher Erder mit Längswiderstand	394
5.2.	Langer Erder mit Längswiderstand	395
6.	Strombedarf und Schutzbereich bei kathodischem Korrosionsschutz von Rohrleitungen	395
6.1.	Begrenzter Leitungsabschnitt	396
6.2.	Sehr lange Rohrleitung mit einer Schutzanlage	398
7.	Tabellen	399
8.	Literatur	409
Register	411