

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	Mischelektronen	. . . . . 30
2.2.4.1	Homogene Mischelektronen	. . . . . 30
2.2.4.2	Heterogene Mischelektronen 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 Schutzzpotentialen 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	Vermischte 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	Fernmeldekkabel	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 Masterdern	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 Erdern	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 Rohrinneren an Isolierstücken	518
24.5	Allgemeine Hinweise zur Stromverteilung	520
24.6	Literatur	521
Register	. . . . .	523

Anzeigenteil