

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur zweiten Auflage XIV

Vorwort zur dritten Auflage XV

Autorenliste XVII

- 1 Korrosion und Korrosionsschutz 1**
P. Maaß
 - 1.1 Korrosion 1
 - 1.1.1 Ursache der Korrosion 1
 - 1.1.2 Korrosionsarten 3
 - 1.1.3 Korrosionserscheinungen 4
 - 1.1.4 Korrosionsbelastungen 4
 - 1.1.4.1 Atmosphärische Korrosion 4
 - 1.1.4.2 Korrosion im Boden 7
 - 1.1.4.3 Korrosion im Wasser 7
 - 1.1.4.4 Sonderbelastungen 7
 - 1.1.4.5 Vermeidung von Korrosionsschäden 7
 - 1.2 Korrosionsschutz 8
 - 1.2.1 Verfahren 8
 - 1.2.1.1 Aktive Verfahren 8
 - 1.2.1.2 Passive Verfahren 10
 - 1.2.2 Volkswirtschaftliche Bedeutung 19
 - 1.2.3 Korrosionsschutz und Umweltschutz 19
- 2 Geschichtliche Entwicklung der Feuerverzinkung 23**
P. Maaß
- 3 Technologie der Oberflächenvorbereitung 33**
P. Peißker
 - 3.1 Anlieferungszustand 35
 - 3.1.1 Grundwerkstoff 35
 - 3.1.2 Oberflächenbeschaffenheit 35
 - 3.1.3 Rauheit der Stahloberfläche 39
 - 3.2 Mechanische Oberflächenvorbereitungsverfahren 40
 - 3.2.1 Reinigungsstrahlen 40

Handbuch Feuerverzinken, 3. Auflage. Herausgegeben von Peter Maaß und Peter Peißker
Copyright © 2012 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

3.2.2	Gleitschleifen	42
3.3	Chemisches Reinigen und Entfetten	42
3.3.1	Alkalischer Reiniger	45
3.3.1.1	Zusammensetzung	45
3.3.1.2	Wasser	47
3.3.1.3	Arbeitsbedingungen	47
3.3.1.4	Analytische Kontrolle, Standzeit, Recycling	49
3.3.2	Biologische Reinigung	52
3.3.3	Beizentfetten	54
3.3.4	Weitere Reinigungsverfahren	56
3.4	Spülen der Teile	57
3.4.1	Verschleppung	57
3.4.2	Berechnung von Spülprozessen	59
3.4.3	Spülwasserrückführung	61
3.5	Beizen	63
3.5.1	Werkstoff und Oberflächenzustand	65
3.5.2	Salzsäurebeize	67
3.5.2.1	Zusammensetzung	67
3.5.2.2	Beizbedingungen	71
3.5.2.3	Inhibition und Wasserstoffversprödung	76
3.5.2.4	Analytische Kontrolle, Recycling, Reststoffverwertung	80
3.5.3	Vorbereitung von Gusswerkstoffen	84
3.5.4	Entzinken	86
3.6	Flussmittel zum Feuerverzinken	87
3.6.1	Flussmittel auf Basis $\text{ZnCl}_2/\text{NH}_4\text{Cl}$	88
3.6.2	Das System $\text{ZnCl}_2/\text{NaCl}/\text{KCl}$	90
3.6.3	Flussmittelbedingte Reststoffe	91
4	Technologie der Feuerverzinkung und Schichtbildung	101
	<i>W.-D. Schulz, M. Thiele</i>	
4.1	Verfahrenstechnische Varianten	101
4.1.1	Kontinuierliches Feuerverzinken von Bandstahl und Stahldraht	102
4.1.2	Stückverzinken	104
4.1.3	Sonderverfahren	108
4.2	Die Schichtbildung beim Feuerverzinken von Stückgut zwischen 435 °C und 620 °C	109
4.2.1	Allgemeines	109
4.2.2	Einfluss der Schmelztemperatur und der Tauchdauer auf die Schichtdicke	113
4.2.3	Einfluss einer Wärmebehandlung der Stähle vor dem Verzinken	119
4.2.4	Hochtemperaturverzinken bei Temperaturen oberhalb 530 °C	120
4.2.5	Struktur-Untersuchungen	121
4.2.6	Ganzheitliche Theorie der Schichtbildung	125
4.2.7	Einfluss von Legierungselementen der Schmelze auf die Schichtbildung	129
4.2.7.1	Konventionelle Zinkschmelzen	129
4.2.7.2	Legierte Zinkschmelzen	130

- 4.3 Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion (LME) 133
- 4.4 Nachbehandlung 134

5 Technische Ausrüstung 139

R. Mintert, P. Peißker

- 5.1 Vorplanung 139
 - 5.1.1 Vorstudie 139
 - 5.1.2 Intensivstudie 139
 - 5.1.3 Genehmigungsantrag 140
- 5.2 Anlagenaufstellungsvarianten 140
 - 5.2.1 Geradliniger Durchlauf 140
 - 5.2.2 U-förmiger Durchlauf 142
 - 5.2.3 Behängungsbereich 142
 - 5.2.4 Gestelle, Traversen, Hilfsvorrichtungen 142
 - 5.2.4.1 Beschickungseinrichtungen 147
 - 5.2.4.2 Typische Beispiele für Gestelle und Traversen 148
 - 5.2.5 Automatische Stückverzinkungsanlage 151
- 5.3 Vorbehandlungsanlage 152
 - 5.3.1 Vorbehandlungsbehälter 152
 - 5.3.2 Beizerei-Einhausung 153
 - 5.3.3 Wärmeversorgung der Vorbehandlungsbäder 154
 - 5.3.4 Vorteilhafte Behälterabdeckungen 156
- 5.4 Trockenöfen 157
- 5.5 Verzinkungsöfen 160
 - 5.5.1 Verzinkungsöfen mit Umwälzbeheizung 160
 - 5.5.2 Verzinkungsöfen mit Flächenbrennerbeheizung 160
 - 5.5.3 Verzinkungsöfen mit Impulsbrennerbeheizung 162
 - 5.5.4 Verzinkungsöfen mit Induktionsbeheizung 163
 - 5.5.5 Verzinkungsöfen mit Widerstandsbeheizung 163
 - 5.5.6 Verzinkungsöfen mit Rinneninduktor [5.20] 164
 - 5.5.7 Service-Plan: Verzinkungskessel 165
- 5.6 Verzinkungskessel 169
- 5.7 Zinkbadeinhausungen 169
 - 5.7.1 Querstehende Einhausung, stationär 170
 - 5.7.2 Querstehende Einhausung, kranverfahrbar 171
 - 5.7.3 Längsstehende Einhausung 172
- 5.8 Nachbehandlung 174
- 5.9 Entnahmebereich 174
- 5.10 Traversenrückführung 174
- 5.11 Krananlagen 175
- 5.12 Filteranlagen 178
- 5.13 Halbautomatische Kleinteilverzinkungsanlage 180
- 5.14 Verzinkungsöfen mit keramischer Wanne 182
- 5.15 Automatische Kleinteilverzinkungsanlage 183
 - 5.15.1 Automatische Roboter-Schleuderverzinkungsanlage 185
- 5.16 Rohrverzinkungsanlage 186

5.17	Einsatz von Vibratoren/Rüttlern	187
5.18	Energiebilanz	188
5.19	In- und Außerbetriebnahme eines Feuerverzinkungskessels, Kesselwechsel, Betriebsweise	190
5.19.1	Feuerverzinkungskessel und Verzinkungsöfen	190
5.19.2	Inbetriebnahme	191
5.19.3	Optimaler Betrieb	193
5.19.4	Wirtschaftlicher Energieverbrauch und Lebensdauer des Kessels	193
5.19.5	Außerbetriebnahme	196
5.19.6	Havarie am Verzinkungskessel	197
6	Umweltschutz und Arbeitssicherheit in Feuerverzinkungsbetrieben	201
	<i>C. Kaßner</i>	
6.1	Vorschriften und Maßnahmen zur Luftreinhaltung	201
6.2	Maßnahmen zur Luftreinhaltung	204
6.2.1	Lufttechnische Einrichtungen in der Feuerverzinkungsindustrie	204
6.2.1.1	Lüftungssysteme	206
6.2.1.2	Erfassungssysteme	207
6.2.1.3	Rückhaltesysteme	212
6.2.1.4	Saugzuggebläse	223
6.2.1.5	Ableitung der Emissionen	225
6.3	Messverfahren	225
6.3.1	Emissionsmessungen	225
6.3.2	Arbeitsbereichsmessungen	225
6.3.3	Trendmessungen	225
6.4	Abfälle und Reststoffe	227
6.4.1	Allgemeines	227
6.4.2	Ölhaltige Abfälle/Reststoffe aus der Entfettung	229
6.4.2.1	Öl- und fetthaltige Entfettungsbäder	229
6.4.2.2	Öl- und fetthaltige Schlämme und Konzentrate	229
6.4.3	Altbeizen	230
6.4.4	Abfälle/Reststoffe aus der Flussmittelbehandlung	230
6.4.4.1	Verbrauchte Flussmittelbäder	231
6.4.4.2	Eisenhydroxid-Schlamm	231
6.4.5	Abfälle/Reststoffe aus der Verzinkung	231
6.4.5.1	Hartzink	231
6.4.5.2	Zinkasche	232
6.4.5.3	Verspritztes Zink	232
6.4.6	Weitere Abfälle/Reststoffe	232
6.5	Lärm	233
6.5.1	Allgemeines	233
6.5.2	Lärmschutz in Feuerverzinkereien	234
6.5.2.1	Persönliche Schutzausrüstung	234
6.5.2.2	Betriebliche Maßnahmen	234
6.6	Arbeitssicherheit	235

6.6.1	Allgemeines	235
6.6.1.1	Gesetzliche Grundlagen	235
6.6.1.2	Unfallgeschehen in Feuerverzinkereien	236
6.6.1.3	Unfallkosten	237
6.6.2	Ausrüstung des Feuerverzinkungsunternehmens	237
6.6.2.1	Allgemeines	237
6.6.2.2	Arbeitsräume und -bereiche	238
6.6.2.3	Offene Bäder	238
6.6.2.4	Beschickungseinrichtungen	239
6.6.3	Betriebsanweisungen/Unterweisungen	240
6.6.4	Persönliche Schutzausrüstungen	240
6.6.5	Persönliche Verhaltensregeln	240
6.6.6	Umgang mit Gefahrstoffen	244
6.6.7	Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz	245
6.6.8	Gesetzliche Beauftragte im Umwelt- und Arbeitsschutz	247
6.7	Praktische Maßnahmen zum Umweltschutz	247
7	Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren und Fertigen	257
	<i>G. Scheer, M. Huckshold</i>	
7.1	Allgemeine Hinweise	257
7.2	Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit des Grundwerkstoffes	259
7.2.1	Allgemeines	259
7.2.2	Entfernen von artfremden Schichten	259
7.2.3	Oberflächenrauheit	261
7.2.4	Schalen, Schuppen, Überfaltungen	262
7.3	Abmessungen und Gewichte des Verzinkungsgutes	262
7.3.1	Allgemeines	262
7.3.2	Badabmessungen, Stückgewichte	263
7.3.3	Sperrige Teile, übergroße Teile	263
7.3.4	Aufhängungen	264
7.4	Behälter und Konstruktionen aus Rohren (Hohlkörper)	265
7.4.1	Allgemeines	265
7.4.2	Rohrkonstruktionen	266
7.4.3	Außenverzinkung bei Rohren und Behältern	268
7.4.4	Behälter	269
7.5	Konstruktionen aus Profilstahl	269
7.5.1	Werkstoffe/Werkstoffdicken/Spannungen	269
7.5.2	Oberflächenvorbereitung	270
7.5.3	Überlappungen	271
7.5.4	Freischnitte und Durchflussöffnungen	271
7.6	Stahlblech und Stahldraht	273
7.6.1	Stahlblechwaren	273
7.6.1.1	Verbindungsverfahren	273
7.6.1.2	Formgebung	274
7.6.2	Drahtwaren	275

7.7	Konstruktionen aus feuerverzinkten Halbzeugen	276
7.7.1	Anforderungen	277
7.7.2	Verarbeitung	278
7.8	Vermeiden von Verzug und Rissbildung	279
7.8.1	Zusammenhänge	279
7.8.2	Abhilfe	280
7.8.3	Verminderung der Verzugs-/Rissgefahr bei großen Stahlkonstruktionen	281
7.9	Schweißen vor und nach dem Feuerverzinken	283
7.9.1	Schweißen vor dem Feuerverzinken	283
7.9.1.1	Allgemeines	283
7.9.1.2	Fehlerquellen	284
7.9.1.3	Schweißpraxis	285
7.9.2	Schweißen nach dem Feuerverzinken	286
7.9.2.1	Allgemeines	286
7.9.2.2	Schweißpraxis	286
7.10	Feuerverzinken von Kleinteilen	289
7.10.1	Verfahren	289
7.10.2	Was sind Kleinteile?	289
7.10.3	Aussehen und Oberflächenqualität	290
7.10.4	Produkte	290
7.11	Nacharbeiten und Ausbessern des Zinküberzuges	291
7.11.1	Zinkverdickungen, Tropfnasen	292
7.11.2	Scharniere und Gewindebolzen	293
7.11.3	Fehlstellen und Beschädigungen	293
7.12	Feuerverzinken von Gusswerkstoffen	294
7.13	Örtliche Vermeidung der Zinkannahme	296
7.14	Normen und Richtlinien	297
7.14.1	DIN EN ISO 1461 und nationales Beiblatt 1 (Anmerkungen)	297
7.14.2	DIN EN ISO 14713	300
7.14.3	Weitere Normen	300
7.15	Fehler und Fehlervermeidung	301
7.15.1	Fremdrost	302
7.15.2	Schleiffunken	302
7.15.3	Risse in Werkstücken	303
7.15.4	Artfremde Schichten auf der Stahlkonstruktion	304
7.15.5	Thermische Einflüsse	305
7.15.6	Schäden durch Richtarbeiten	305
7.15.7	Verzinkungsfehler durch Lufteinschlüsse	306
7.15.8	Ungeschützte Verbindungselemente	307
8	Qualitätsmanagement in Feuerverzinkereien	309
	<i>G. Halm</i>	
8.1	Warum Qualitätsmanagement?	309
8.2	Wichtige Kriterien	310
8.3	Struktur des QM-Systems nach DIN EN ISO 9001:2000	311

8.4	Kurzbeschreibung der QM-Elemente Abschnntt 4–8	313
8.4.1	Dokumentationsanforderungen Abschnitt 4	313
8.4.2	Verantwortung der Leitung Abschnitt 5	313
8.4.3	Management von Ressourcen Abschnitt 6	313
8.4.4	Produktrealisierung Abschnitt 7	314
8.4.5	Messung, Analyse und Verbesserung Kapitel 8	315
8.5	Einführung von QM-Systemen	318
8.6	Tendenzen	319
9	Korrosionsverhalten von Zinküberzügen	321
	<i>H.-J. Böttcher, W. Friehe, D. Horstmann, C.-L. Kruse, W. Schwenk, W.-D. Schulz</i>	
9.1	Korrosionschemische Eigenschaften	321
9.1.1	Allgemeines	321
9.1.2	Grundlagen der Korrosion in Wässern	323
9.1.3	Thermodynamische Grundlagen	327
9.1.4	Bimetallkorrosion	330
9.1.5	Thermische Beständigkeit	331
9.1.6	Mechanische Beständigkeit	332
9.2	Korrosionsbelastung durch die Atmosphäre	333
9.2.1	Allgemeines	333
9.2.2	Korrosionsbelastung bei Freibewitterung	334
9.2.2.1	Korrosionsbelastung bei Freibewitterung ohne Regenschutz	334
9.2.2.2	Korrosionsbelastung bei Freibewitterung mit Regenschutz	338
9.2.3	Korrosionsbelastung in Innenräumen	340
9.2.3.1	Innenräume ohne Klimatisierung	340
9.2.3.2	Innenräume mit Klimatisierung	341
9.2.4	Weißrostbildung	341
9.2.5	Korrosionsbelastung durch Ablaufwasser	344
9.3	Korrosionsbelastung durch Wässer	345
9.3.1	Trinkwasser	345
9.3.2	Schwimmbadwasser	346
9.3.3	Offene Kühlsysteme	347
9.3.4	Geschlossene Heiz- und Kühlsysteme	347
9.3.5	Abwasser	348
9.3.5.1	Regenwasser	348
9.3.5.2	Häusliche Abwässer	348
9.3.5.3	Kläranlagen	348
9.3.6	Meerwasser	349
9.3.6.1	Deckschichtbildung	349
9.3.6.2	Blasenbildung	350
9.3.6.3	Duplex-Systeme	351
9.4	Korrosionsbelastung durch Erdböden	351
9.4.1	Verhalten bei freier Korrosion	352
9.4.2	Potenzialabhängigkeit der Korrosionsgeschwindigkeit	352
9.4.3	Verhalten bei Elementbildung und Streustrombeeinflussung	353
9.4.4	Verhalten bei Wechselstrombeeinflussung	354

9.5	Korrosionsbelastung durch Beton	354
9.6	Korrosionsbelastung bei landwirtschaftlichen Einrichtungen und durch landwirtschaftliche Erzeugnisse	358
9.6.1	Gebäude und Stalleinrichtungen	358
9.6.2	Lagerung und Transport	359
9.6.3	Lebensmittel	359
9.7	Korrosionsbelastung durch nichtwässrige Medien	360
9.8	Korrosionsschutzmaßnahmen an Fehlstellen	361
9.8.1	Allgemeines	361
9.8.2	Ausbesserungsverfahren	362
9.8.2.1	Thermisches Spritzen mit Zink	362
9.8.2.2	Auftragen von Beschichtungsstoffen	362
9.8.2.3	Auftragen von Loten	363
9.9	Untersuchung der Korrosionsbeständigkeit und Qualitätsprüfung	364
10	Beschichtungen auf Zinküberzügen – Duplex-Systeme	371
	<i>A. Schneider</i>	
10.1	Grundlagen, Anwendung, Ausführungsschwerpunkte	371
10.2	Begriffsdefinitionen	374
10.3	Schutzdauer von Duplex-Systemen	375
10.4	Besonderheiten der konstruktiven Bauteilausführung	376
10.5	Qualitätsanforderungen an den Zinküberzug für eine Beschichtung	377
10.6	Oberflächenvorbereitung des Zinküberzuges für die Beschichtung	378
10.6.1	Verunreinigungen des Zinküberzuges	378
10.6.2	Oberflächenvorbereitungsverfahren	379
10.6.3	Beschreibung praktisch angewandter Oberflächenvorbereitungsverfahren	381
10.6.3.1	Sweep-Strahlen	381
10.6.3.2	Hochdruckwasser- oder Dampfstrahlen	383
10.6.3.3	Abschleifen mit Schleifvlies	384
10.6.3.4	Chemische Umwandlung	385
10.6.4	Einordnung der Oberflächenvorbereitung und der Beschichtung in die Fertigungstechnologie	385
10.7	Beschichtungsstoffe, Beschichtungssysteme	388
11	Wirtschaftlichkeit der Feuerverzinkung	395
	<i>P. Maaß</i>	
12	Anwendungsbeispiele	403
	<i>P. Maaß</i>	
12.1	Hochbau/Hausbau	405
12.2	Tiefbau	409
12.3	Verkehrswesen	410
12.4	Sport/Freizeit	414
12.5	Anlagenbau	416
12.6	Bergbau	417

- 12.7 Energieversorgung 418
- 12.8 Landwirtschaft 421
- 12.9 Bauelemente/Verbindungsmittel 422
- 12.10 Umweltschutz 424
- 12.11 Handwerk 425
- 12.12 Kunst 427
- 12.13 Bandverzinken 429
- 12.14 Schlussbetrachtung 429

13 Anhang 431
P. Maaß

Stichwortverzeichnis 475