

LEHRBUCHREIHE GALVANOTECHNIK

Lehrbuch  
für  
Galvaniseure  
und  
Oberflächenbeschichter  
(Lernstufe 3)

Fachverlag für  
• Oberflächentechnik – Galvanotechnik  
• Produktion von Leiterplatten  
und Systemen  
(Baugruppenteknik)

EUGEN G.  
LEUZE  
VERLAG

---

103 JAHRE 1902 - 2007

BAD SAULGAU  
GERMANY

# Inhaltsverzeichnis

|            |  |    |
|------------|--|----|
| <b>I</b>   | <b>Beschichtungsverfahren</b>                                    | 15 |
| I.1        | Galvanische Verfahren  | 15 |
| I.1.1      | Verfahren der Metallabscheidung                                  | 15 |
| I.1.1.1    | Cadmiumabscheidung   | 15 |
| I.1.1.1.1  | Allgemeines  | 15 |
| I.1.1.1.2  | Schichteigenschaften – Schichtdicken                             | 16 |
| I.1.1.1.3  | Wichtige Elektrolyte   | 17 |
| I.1.1.1.4  | Wirkungen der Bestandteile                                       | 18 |
| I.1.1.1.5  | Arbeitsfolgen zur Beschichtung<br>verschiedener Grundmaterialien | 21 |
| I.1.1.1.6  | Elektrolytüberwachung  | 21 |
| I.1.1.1.7  | Analysen der Hauptkomponenten                                    | 21 |
| I.1.1.1.8  | Entsorgung   | 25 |
| I.1.1.2    | Chromabscheidung   | 26 |
| I.1.1.2.1  | Allgemeines  | 26 |
| I.1.1.2.2  | Schichteigenschaften – Schichtdicken                             | 26 |
| I.1.1.2.3  | Anwendungen  | 28 |
| I.1.1.2.4  | Wichtige Elektrolyten  | 29 |
| I.1.1.2.5  | Mechanismus der Chromabscheidung<br>aus Chromatelektrolyten      | 30 |
| I.1.1.2.6  | Wirkungen der Bestandteile                                       | 33 |
| I.1.1.2.7  | Arbeitsfolgen zu Beschichtung<br>verschiedener Grundmaterialien  | 35 |
| I.1.1.2.8  | Elektrolytüberwachung  | 43 |
| I.1.1.2.9  | Analyse der Hauptkomponenten                                     | 44 |
| I.1.1.2.10 | Weitere (physikalische)<br>Überwachungsmethoden                  | 47 |
| I.1.1.2.11 | Methoden zur Standzeitverlängerung                               | 49 |
| I.1.1.2.12 | Verunreinigungen   | 50 |
| I.1.1.2.13 | Entchromen   | 50 |
| I.1.1.2.14 | Entsorgung   | 51 |
| I.1.1.3.   | Edelmetalle – Goldabscheidung                                    | 52 |
| I.1.1.3.1  | Allgemeines  | 52 |
| I.1.1.3.2  | Reaktionen   | 52 |
| I.1.1.3.3  | Schichteigenschaften – Schichtdicken                             | 53 |

## Inhaltsverzeichnis

---

|            |  |    |
|------------|--|----|
| I.1.1.3.4  | Anwendungen  | 53 |
| I.1.1.3.5  | Wichtige Elektrolyten  | 56 |
| I.1.1.3.6  | Wirkungen der Bestandteile                                       | 59 |
| I.1.1.3.7  | Besonderheiten der Abscheidung                                   | 61 |
| I.1.1.3.8  | Arbeitsfolgen zur Beschichtung<br>verschiedener Grundmaterialien | 62 |
| I.1.1.3.9  | Elektrolytüberwachung  | 64 |
| I.1.1.3.10 | Methoden zur Standzeitverlängerung                               | 65 |
| I.1.1.3.11 | Entsorgung   | 65 |
| I.1.1.4    | Platinmetalle – Platinabscheidung                                | 66 |
| I.1.1.4.1  | Einleitung   | 66 |
| I.1.1.4.2  | Allgemeines  | 67 |
| I.1.1.4.3  | Verwendung   | 67 |
| I.1.1.4.4  | Wichtige Elektrolyte   | 67 |
| I.1.1.4.5  | Weitere Platinmetalle  | 67 |
| I.1.1.5    | Rhodiumabscheidung   | 68 |
| I.1.1.5.1  | Allgemeines  | 68 |
| I.1.1.5.2  | Schichteigenschaften – Schichtdicken                             | 69 |
| I.1.1.5.3  | Anwendungen  | 69 |
| I.1.1.5.4  | Wichtige Elektrolyte   | 69 |
| I.1.1.6    | Palladiumabscheidung   | 70 |
| I.1.1.6.1  | Allgemeines  | 70 |
| I.1.1.6.2  | Schichteigenschaften – Schichtdicken                             | 70 |
| I.1.1.6.3  | Anwendungen  | 71 |
| I.1.1.6.4  | Wichtige Elektrolyte   | 71 |
| I.1.1.6.5  | Wirkungen der Bestandteile                                       | 73 |
| I.1.1.6.6  | Besonderheiten des<br>Abscheidungsprozesses                      | 73 |
| I.1.1.6.7  | Entmetallisierung und Entsorgung                                 | 73 |
| I.1.1.7    | Seltener abgeschiedene Metalle – Aluminium                       | 74 |
| I.1.1.7.1  | Allgemeines  | 74 |
| I.1.1.7.2  | Eigenschaften  | 74 |
| I.1.1.7.3  | Schichteigenschaften – Schichtdicken                             | 75 |
| I.1.1.7.4  | Anwendungen  | 75 |
| I.1.1.7.5  | Wichtige Elektrolyte   | 75 |
| I.1.1.7.6  | Wirkungen der Bestandteile                                       | 76 |
| I.1.1.7.7  | Arbeitsfolgen zur Beschichtung<br>verschiedener Grundmaterialien | 77 |
| I.1.1.7.8  | Entsorgung   | 77 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| I.1.1.8  | Indium   | 77  |
|          | I.1.1.8.1 Allgemeines  | 77  |
|          | I.1.1.8.2 Eigenschaften  | 77  |
|          | I.1.1.8.3 Anwendungen  | 78  |
|          | I.1.1.8.4 Wichtige Elektrolyte                                 | 78  |
| I.1.1.9  | Titan  | 78  |
|          | I.1.1.9.1 Allgemeines  | 78  |
|          | I.1.1.9.2 Eigenschaften  | 79  |
|          | I.1.1.9.3 Anwendungen  | 79  |
|          | I.1.1.9.4 Wichtige Elektrolyte                                 | 80  |
| I.1.1.10 | Schichtsysteme   | 80  |
|          | I.1.1.10.1 Allgemeines   | 80  |
|          | I.1.1.10.2 Kupfer-Nickel-Chrom                                 | 81  |
|          | I.1.1.10.3 Nickel-Gold   | 82  |
|          | I.1.1.10.4 Nickel-Zinn   | 82  |
|          | I.1.1.10.5 Kupfer-Nickel-Silber;<br>Kupfer-Silber              | 82  |
|          | I.1.1.10.6 Zink-Kupfer-Nickel-Chrom                            | 83  |
| I.1.1.11 | Legierungsabscheidung  | 83  |
|          | I.1.1.11.1 Eigenschaften<br>und Anwendungsgebiete              | 83  |
|          | I.1.1.11.2 Mechanismen   | 84  |
|          | I.1.1.11.3 Anoden  | 87  |
|          | I.1.1.11.4 Spezielle Legierungen                               | 88  |
| I.1.1.12 | Dispersionsschichten   | 103 |
| I.1.2    | Nachbehandlungsschichten                                       | 104 |
|          | I.1.2.1 Konversionsschichten                                   | 105 |
|          | I.1.2.1.1 Phosphatieren  | 105 |
|          | I.1.2.1.2 Chromatieren   | 112 |
|          | I.1.2.1.3 Elektrolytisches Metallfärben<br>und Oxidation       | 115 |
|          | I.1.2.2 Auf der Metallschicht<br>abgeschiedene Schutzschichten | 116 |
|          | I.1.2.2.1 Lackierung   | 116 |
|          | I.1.2.2.2 Dickschichtpassivierung                              | 116 |
|          | I.1.2.2.3 Dünnschichtpassivierung                              | 119 |
|          | I.1.2.2.4 Sol-Gel-Schichten                                    | 119 |
|          | I.1.2.2.5 Wasserbasierte Silansysteme                          | 120 |
| I.1.3    | Fachbegriffe   | 120 |
| I.1.4    | Wiederholungsfragen  | 124 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| I.2     | Schmelztauchverfahren . . . . .   | 128 |
| I.2.1   | Grundlagen . . . . .  | 128 |
| I.2.1.1 | Schichtmetalle . . . . .  | 130 |
| I.2.1.2 | Besonderheiten der Schichtbildung . . . . .                               | 131 |
| I.2.1.3 | Schmelztauchgerechte Konstruktion . . . . .                               | 133 |
|         | I.2.1.3.1 Verzinkungsgerechte Werkstücke . . . . .                        | 134 |
|         | I.2.1.3.2 Verzinkungsfähiger Rohstoff . . . . .                           | 135 |
| I.2.2   | Vorbereitung der Werkstücke . . . . .                                     | 136 |
| I.2.2.1 | Wareneingangskontrolle . . . . .  | 138 |
| I.2.2.2 | Aufrüsten; Aufdrahten . . . . .   | 138 |
|         | I.2.2.2.1 Aufrüsten (Beladen; Chargieren) . . . . .                       | 139 |
|         | I.2.2.2.2 Verzinkungsgeeignete Oberfläche . . . . .                       | 140 |
|         | I.2.2.2.3 Vorbehandlungs- und<br>verzinkungsgerechtes Aufrüsten . . . . . | 141 |
|         | I.2.2.2.4 Umweltschutz . . . . .  | 143 |
| I.2.2.3 | Vorbehandlung; Fluxen . . . . .   | 143 |
|         | I.2.2.3.1 Trockenverzinken . . . . .                                      | 147 |
|         | I.2.2.3.2 Nassverzinken . . . . .   | 148 |
| I.2.3   | Feuerverzinken . . . . .  | 148 |
| I.2.3.1 | Verfahren . . . . .   | 148 |
| I.2.3.2 | Fehler . . . . .  | 154 |
| I.2.3.3 | Spezielle Verfahren der Verzinkung . . . . .                              | 154 |
|         | I.2.3.3.1 Schüttgutverzinkung . . . . .                                   | 154 |
|         | I.2.3.3.2 Drahtverzinkung . . . . .                                       | 155 |
|         | I.2.3.3.3 Bandverzinkung . . . . .  | 155 |
|         | I.2.3.3.4 Rohrverzinkung . . . . .  | 156 |
|         | I.2.3.3.5 Verticalgalva . . . . .   | 156 |
| I.2.4   | Tauchverzinnen . . . . .  | 157 |
| I.2.5   | Tauchaluminieren; Feueraluminieren . . . . .                              | 158 |
| I.2.6   | Tauchverbleien; Feuerverbleien . . . . .                                  | 159 |
| I.2.7   | Tauchcadmieren . . . . .  | 159 |
| I.2.8   | Feuervergolden und -versilbern . . . . .                                  | 160 |
| I.2.9   | Nachbehandlung . . . . .  | 161 |
|         | I.2.9.1 Abrüsten . . . . .  | 162 |
|         | I.2.9.2 Konversionsschutzschichten . . . . .                              | 164 |
|         | I.2.9.3 Isolierende Schutzschichten . . . . .                             | 164 |
|         | I.2.9.3.1 Latexartige Schichten . . . . .                                 | 164 |
|         | I.2.9.3.2 Pulverlackieren; Duplexschichten . . . . .                      | 164 |
|         | I.2.9.3.3 Auswahl des<br>Korrosionsschutzsystems . . . . .                | 165 |

---

|     |         |  |     |
|-----|---------|--|-----|
|     | I.2.9.4 | Ausbesserung von Fehlstellen . . . . .                                   | 166 |
|     | I.2.9.5 | Entzinkung . . . . .   | 166 |
|     | I.2.10  | Fachbegriffe . . . . .   | 167 |
|     | I.2.11  | Wiederholungsfragen . . . . .  | 171 |
| I.3 |         | Prozessführung und Optimierung . . . . .                                 | 173 |
|     | I.3.1   | Streufähigkeit und Metallverteilung . . . . .                            | 173 |
|     | I.3.1.1 | Grundlagen, Messung . . . . .  | 174 |
|     |         | I.3.1.1.1 Streufähigkeit und Metallverteilung . . . . .                  | 174 |
|     |         | I.3.1.1.2 Messung der Streufähigkeit . . . . .                           | 179 |
|     | I.3.1.2 | Beeinflussung durch den Elektrolyten . . . . .                           | 182 |
|     | I.3.1.3 | Beeinflussung der Metallverteilung<br>durch die Anlagentechnik . . . . . | 183 |
|     | I.3.1.4 | Beeinflussung der Metallverteilung<br>durch Hilfsmittel . . . . .        | 184 |
|     |         | I.3.1.4.1 Blenden . . . . .  | 184 |
|     | I.3.1.5 | Prozessfähigkeit bezüglich der Schichtdicke . . . . .                    | 186 |
|     |         | I.3.1.5.1 Prozessstreuung . . . . .                                      | 186 |
|     |         | I.3.1.5.2 Prozessfähigkeit . . . . .                                     | 188 |
|     | I.3.2   | Elektrolytführung . . . . .  | 188 |
|     | I.3.2.1 | Lagerung wassergefährdender Stoffe . . . . .                             | 189 |
|     | I.3.2.2 | Elektrolytansatz . . . . .   | 190 |
|     | I.3.2.3 | Analytik . . . . .   | 190 |
|     | I.3.2.4 | Elektrolytkorrektur . . . . .  | 190 |
|     | I.3.2.5 | Lebensdauersteuerung . . . . .   | 191 |
|     | I.3.2.6 | Dokumentation . . . . .  | 191 |
|     | I.3.3   | Abscheidungsmechanismen . . . . .  | 192 |
|     | I.3.3.1 | Aufbau der Phasengrenze Bauteil – Elektrolyt . . . . .                   | 192 |
|     | I.3.3.2 | Elektrokristallisation . . . . .   | 193 |
|     | I.3.3.3 | Einebnung und Aufrauung . . . . .  | 196 |
|     | I.3.3.4 | Einzelschritte der Abscheidungsreaktion . . . . .                        | 197 |
|     | I.3.4   | Fachbegriffe . . . . .   | 198 |
|     | I.3.5   | Wiederholungsfragen . . . . .  | 200 |
| I.4 |         | Periphere Anlagentechnik . . . . .                                       | 202 |
|     | I.4.1   | Anlagen für die Metallabscheidung . . . . .                              | 202 |
|     | I.4.1.1 | Stromversorgung . . . . .  | 202 |
|     |         | I.4.1.1.1 Transformatoren . . . . .                                      | 203 |
|     |         | I.4.1.1.2 Wechselstrom<br>und seine Gleichrichtung . . . . .             | 205 |
|     | I.4.1.2 | Wasserver- und -entsorgung . . . . .                                     | 208 |

|           |                        |  |     |
|-----------|------------------------|--|-----|
|           | I.4.1.2.1              | Cyanidentgiftung . . . . .                                     | 211 |
|           | I.4.1.2.2              | Nitritentgiftung . . . . .                                     | 211 |
|           | I.4.1.2.3              | Chromatentgiftung . . . . .                                    | 211 |
|           | I.4.1.2.4              | Fällung . . . . .  | 211 |
|           | I.4.1.3                | Luftver- und -entsorgung . . . . .                             | 212 |
|           | I.4.1.4                | Anlagen zur Standzeitverlängerung . . . . .                    | 216 |
|           | I.4.1.5                | Wärmeversorgung . . . . .                                      | 219 |
|           | I.4.1.6                | Zinkschmelzeinhausung . . . . .                                | 221 |
|           | I.4.1.7                | Filteranlagen . . . . .  | 222 |
|           | I.4.1.8                | Hartzinkziehen . . . . .                                       | 224 |
|           | I.4.2                  | Fachbegriffe . . . . .   | 224 |
|           | I.4.3                  | Wiederholungsfragen . . . . .                                  | 228 |
| <b>II</b> | <b>Sonderverfahren</b> | . . . . .  | 230 |
|           | II.5                   | Sonderverfahren einsetzen . . . . .                            | 230 |
|           | II.5.1                 | Leiterplatten herstellen . . . . .                             | 230 |
|           | II.5.1.1               | Anwendungsbereiche . . . . .                                   | 231 |
|           | II.5.1.2               | Leiterplattentypen . . . . .                                   | 231 |
|           | II.5.1.2.1             | Konstruktive Unterschiede . . . . .                            | 231 |
|           | II.5.1.3               | Mechanische Bearbeitung . . . . .                              | 234 |
|           | II.5.1.3.1             | Siebdruck . . . . .  | 235 |
|           | II.5.1.3.2             | Fotodruck . . . . .  | 235 |
|           | II.5.1.3.3             | Fotoresists . . . . .  | 236 |
|           | II.5.1.4               | Vorbehandlungsverfahren . . . . .                              | 236 |
|           | II.5.1.5               | Ein- und doppelseitige Aufbauten . . . . .                     | 237 |
|           | II.5.1.6               | Anlagentechnik und Prozessabläufe . . . . .                    | 240 |
|           | II.5.1.6.1             | Ätzen der kaschierten Platten . . . . .                        | 240 |
|           | II.5.1.6.2             | Aktivieren<br>der Kunststoffoberflächen . . . . .              | 241 |
|           | II.5.1.6.3             | Chemische Kupferabscheidung . . . . .                          | 243 |
|           | II.5.1.7               | Nachbehandlung . . . . .                                       | 244 |
|           | II.5.1.8               | Qualitätsmanagement . . . . .                                  | 245 |
|           | II.5.2                 | Anodisationstechnik . . . . .                                  | 246 |
|           | II.5.2.1               | Verfahren zur Herstellung<br>von Metalloxidschichten . . . . . | 246 |
|           | II.5.2.1.1             | Aluminium . . . . .  | 247 |
|           | II.5.2.1.2             | Grundwerkstoff<br>und Fertigungsverfahren . . . . .            | 254 |
|           | II.5.2.1.3             | Kontaktierung . . . . .  | 254 |
|           | II.5.2.1.4             | Anodisationsverfahren . . . . .                                | 255 |

---

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| II.5.2.1.5  | Schichteigenschaften                                    | 256 |
| II.5.2.1.6  | Stahl   | 262 |
| II.5.2.1.7  | Kupfer  | 262 |
| II.5.2.1.8  | Zink  | 262 |
| II.5.2.1.9  | Magnesium   | 263 |
| II.5.2.1.10 | Titan   | 263 |
| II.5.2.2    | Einfärbetechnologien                                    | 264 |
| II.5.2.3    | Nachbehandlungsverfahren                                | 265 |
| II.5.2.4    | Umwelt-, Gesundheits- und Arbeitsschutz                 | 267 |
| II.5.2.5    | Recycling   | 268 |
| II.5.3      | Dünnschichttechnik                                      | 268 |
| II.5.3.1    | Erzeugung von Plasma                                    | 269 |
| II.5.3.2    | Vakuumbeschichtungsverfahren                            | 269 |
| II.5.3.2.1  | PVD-Verfahren   | 270 |
| II.5.3.2.2  | CVD-Verfahren   | 272 |
| II.5.3.2.3  | Plasmapolymerisation                                    | 275 |
| II.5.3.2.4  | CCVD – Abscheidung<br>durch Flammenpyrolyse             | 276 |
| II.5.3.2.5  | DLC-Beschichtung  | 276 |
| II.5.3.3    | Anlagen und periphere Einrichtungen                     | 277 |
| II.5.3.4    | Arbeits- und Gesundheitsschutz                          | 279 |
| II.5.3.5    | Qualitätsmanagement                                     | 280 |
| II.5.4      | Partielles Galvanisieren                                | 280 |
| II.5.4.1    | Grundlagen  | 280 |
| II.5.4.2    | Verfahren   | 281 |
| II.5.4.2.1  | Produktivitätsprobleme                                  | 283 |
| II.5.4.2.2  | Verteilungsprobleme                                     | 284 |
| II.5.4.2.3  | Verfahrensprinzipien                                    | 285 |
| II.5.4.3    | Anlagen   | 290 |
| II.5.4.4    | Qualitätsmanagement                                     | 290 |
| II.5.4.4.1  | Flächenselektivität                                     | 290 |
| II.5.5      | Partielles Beschichten                                  | 292 |
| II.5.5.1    | Grundlagen  | 292 |
| II.5.5.1.1  | Arten der Beschichtungsverfahren                        | 292 |
| II.5.5.2    | Verfahren   | 294 |
| II.5.5.3    | Eigenschaften   | 296 |
| II.5.5.3.1  | Selektivitätserzielung durch<br>partielle Energiezufuhr | 296 |
| II.5.6      | Fachbegriffe  | 298 |
| II.5.7      | Wiederholungsfragen                                     | 301 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| <b>III</b>  | <b>Umweltschutztechnologien</b> .....                  | 303 |
| III.6       | Umweltschonende Entsorgungstechniken. ....             | 303 |
| III.6.1     | Abfälle .....  | 304 |
| III.6.1.1   | Abwasserarten .....                                    | 305 |
| III.6.1.1.1 | Sanitärabwässer .....                                  | 305 |
| III.6.1.1.2 | Saure und alkalische Abwässer .....                    | 305 |
| III.6.1.1.3 | Chromathaltige Abwässer .....                          | 308 |
| III.6.1.1.4 | Cyanidhaltige Abwässer .....                           | 308 |
| III.6.1.1.5 | Komplexbildnerhaltige Abwässer .....                   | 308 |
| III.6.1.1.6 | Organisch belastete Abwässer .....                     | 308 |
| III.6.1.1.7 | Getrennt halten von Abwasser .....                     | 308 |
| III.6.1.1.8 | Altlasten .....  | 309 |
| III.6.1.2   | Abfallarten .....                                      | 309 |
| III.6.1.2.1 | Abfallschlüssel .....                                  | 309 |
| III.6.1.3   | Emissionen .....                                       | 311 |
| III.6.1.4   | Heizung .....  | 312 |
| II.6.2      | Regelwerke (Verfassungen, Gesetze, Verordnungen) ..... | 313 |
| II.6.3      | Behandlungsverfahren und Recyclingwege .....           | 314 |
| III.6.3.1   | Abfälle .....  | 314 |
| III.6.3.2   | Abwasser .....   | 314 |
| III.6.3.2.1 | Abwasservorbehandlung .....                            | 314 |
| III.6.3.2.2 | Chromatentgiftung .....                                | 136 |
| III.6.3.2.3 | Cyanidoxidation .....                                  | 317 |
| III.6.3.2.4 | Fällung .....  | 317 |
| III.6.3.3   | Abluft .....   | 317 |
| II.6.4      | Anlagen .....  | 319 |
| III.6.4.1   | Anlagentechnik .....                                   | 319 |
| III.6.4.1.1 | Abwasserbehandlungsanlagen .....                       | 320 |
| III.6.4.2   | Mess- und Regeleinrichtungen .....                     | 330 |
| III.6.5     | Arbeits- und Gesundheitsschutz .....                   | 331 |
| III.6.6     | Dokumentation der Entsorgung .....                     | 332 |
| III.6.7     | Fachbegriffe .....                                     | 333 |
| III.6.8     | Wiederholungsfragen .....                              | 335 |
|             | <b>Stichwortverzeichnis</b> .....                      | 337 |