

LEHRBUCHREIHE GALVANOTECHNIK

# Lehrbuch für Galvaniseure und Oberflächenbeschichter

(Lernstufe 1)

Jürgen N.M. Unruh

Zweite Auflage

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

EUGEN G.  
LEUZE  
VERLAG

---

106 JAHRE 1902 – 2008

BAD SAULGAU  
GERMANY

# Inhaltsverzeichnis

|            |                                                          |    |
|------------|----------------------------------------------------------|----|
| <b>0</b>   | <b>Grundfrage</b>                                        | 13 |
| <b>0.1</b> | <b>Fertigungs- und Oberflächentechnik</b>                | 13 |
| <b>0.2</b> | <b>Physikalische und chemische Grundbegriffe</b>         | 16 |
| 0.2.1      | Physikalische und chemische Vorgänge                     | 16 |
| 0.2.2      | Aggregatzustände                                         | 19 |
| 0.2.3      | Ablauf der Temperaturänderung                            | 22 |
| 0.2.4      | Gemenge und Verbindungen                                 | 23 |
| 0.2.5      | Chemische Elemente                                       | 24 |
| 0.2.6      | Chemische Verbindungen                                   | 25 |
| 0.2.7      | Einteilung der Stoffe                                    | 26 |
| 0.2.8      | Trennen von Gemengen                                     | 27 |
| 0.2.9      | Atome und Moleküle                                       | 30 |
| 0.2.10     | Chemische Zeichensprache                                 | 31 |
| 0.2.11     | Chemische Formeln                                        | 34 |
| 0.2.12     | Stoffmenge                                               | 36 |
| 0.2.13     | Atommasse und Molekülmasse                               | 37 |
| 0.2.14     | Molare Masse                                             | 37 |
| 0.2.15     | Stoffmengenkonzentration                                 | 38 |
| 0.2.16     | Molverhältnisse                                          | 39 |
| 0.2.17     | Chemische Gleichungen                                    | 40 |
| 0.2.18     | Elektrochemische Gleichungen                             | 42 |
| 0.2.19     | Umsatz- und Ausbeuteberechnungen                         | 42 |
| 0.2.20     | Wertigkeit                                               | 46 |
| 0.2.21     | Wertigkeitswechsel                                       | 47 |
| 0.2.22     | Gemischte Wertigkeiten                                   | 48 |
| 0.2.23     | Elektronentheorie der Valenz                             | 48 |
| 0.2.24     | Berechnung der Oxidationszahlen                          | 49 |
| 0.2.25     | Der gasförmige Zustand                                   | 51 |
| 0.2.26     | Die Gasgesetze                                           | 55 |
| 0.2.27     | Allgemeine Zustandsgleichung und allgemeine Gaskonstante | 57 |

|             |                                                                               |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>0.3</b>  | <b>Sicherheit im galvanotechnischen Betrieb</b>                               | 57 |
| 0.3.1       | Verbotszeichen                                                                | 61 |
| 0.3.2       | Warnzeichen                                                                   | 62 |
| 0.3.3       | Gebotszeichen                                                                 | 63 |
| 0.3.4       | Rettungszeichen                                                               | 63 |
| <b>0.4</b>  | <b>Galvanotechnik und Umwelt</b>                                              | 64 |
| 0.4.1       | Nutzen der Galvano- und Oberflächentechnik                                    | 64 |
| 0.4.2       | Umweltgefährdung                                                              | 64 |
| 0.4.3       | Verantwortung der Beschäftigten für den Umweltschutz                          | 65 |
| <b>0.5</b>  | <b>Einführung in die Galvanotechnik</b>                                       | 65 |
| <b>0.6</b>  | <b>Schichten auf Bauteiloberflächen</b>                                       | 67 |
| <b>0.7</b>  | <b>Physikalische Größen</b>                                                   | 68 |
| <b>0.8</b>  | <b>Periodensystem der Elemente (PSE) und Atomaufbau</b>                       | 71 |
| 0.8.1       | Atomaufbau                                                                    | 71 |
| 0.8.2       | Atomkern                                                                      | 71 |
| 0.8.3       | Elektronenhülle                                                               | 72 |
| 0.8.4       | Elektronenhülle und Wertigkeit                                                | 77 |
| 0.8.5       | Periodensystem                                                                | 79 |
| 0.8.6       | Elektronenhülle und Bindungen                                                 | 79 |
| 0.8.7       | Ionenbeziehung (Ionenbindung)                                                 | 79 |
| 0.8.8       | Atombindung                                                                   | 80 |
| 0.8.9       | Metallische Bindung                                                           | 81 |
| 0.8.10      | Koordinative Bindung (komplexe Bindungen)                                     | 82 |
| 0.8.11      | Isotope                                                                       | 82 |
| <b>0.9</b>  | <b>Fachbegriffe</b>                                                           | 83 |
| <b>0.10</b> | <b>Wiederholungsfragen</b>                                                    | 85 |
| <b>I</b>    | <b>Beschichtungsverfahren</b>                                                 | 87 |
| <b>I.1</b>  | <b>Oberflächentechnische Verfahren<br/>und Anwendungsbereiche analysieren</b> | 87 |
| I.1.1       | Anforderungen an beschichtete Bauteile                                        | 87 |
| I.1.1.1     | Weiterverarbeitung                                                            | 88 |
| I.1.1.2     | Gebrauch                                                                      | 90 |
| I.1.1.3     | Recycling                                                                     | 91 |

---

|            |                                                                                     |            |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| I.1.2      | Funktionen beschichteter Bauteile. . . . .                                          | 92         |
| I.1.3      | Anwendungsbereich –<br>Funktion – Schicht(system), Schichtauswahl . . . . .         | 93         |
| I.1.4      | Beschichtungsverfahren, Beschichtungsstoffe . . . . .                               | 98         |
| I.1.5      | Prozessabläufe bei der Beschichtung. . . . .                                        | 134        |
| I.1.6      | Systemparameter . . . . .                                                           | 135        |
| I.1.7      | Technische Dokumentation . . . . .                                                  | 136        |
| I.1.8      | Qualitätsmanagement . . . . .                                                       | 137        |
| I.1.9      | Fachbegriffe. . . . .                                                               | 139        |
| I.1.10     | Wiederholungsfragen . . . . .                                                       | 143        |
| <b>I.2</b> | <b>Vor- und Nachbehandlung metallischer Werkstücke . . . . .</b>                    | <b>145</b> |
| I.2.1      | Metalle. . . . .                                                                    | 145        |
| I.2.1.1    | Einfache Metalle . . . . .                                                          | 145        |
| I.2.1.2    | Legierungen . . . . .                                                               | 146        |
| I.2.2      | Lebensdauer von Werkstücken . . . . .                                               | 147        |
| I.2.2.1    | Verschleiß. . . . .                                                                 | 150        |
| I.2.2.2    | Korrosion . . . . .                                                                 | 152        |
| I.2.2.3    | Bruch . . . . .                                                                     | 157        |
| I.2.2.4    | Funktionsanforderungen . . . . .                                                    | 157        |
| I.2.3      | Beschichtungsstoffe und -verfahren<br>und ihre Forderungen an das Rohteil . . . . . | 157        |
| I.2.3.1    | Beschichtungsverfahren und Haftungsmechanismen. . . . .                             | 158        |
| I.2.3.2    | Beschichtungsstoffe und ihre Bindungen . . . . .                                    | 160        |
| I.2.3.3    | Oberflächengüte. . . . .                                                            | 160        |
| I.2.3.4    | Oberflächenqualität der Rohteiloberfläche<br>und Beschichtungsverfahren . . . . .   | 162        |
| I.2.4      | Rohteiloberflächen . . . . .                                                        | 163        |
| I.2.4.1    | Struktur und Verunreinigungen . . . . .                                             | 164        |
| I.2.4.2    | Chemische und elektrochemische Eigenschaften<br>der Rohteiloberflächen. . . . .     | 164        |
| I.2.4.3    | Galvanisierfähigkeit, Beschichtungsfähigkeit . . . . .                              | 165        |
| I.2.5      | Vorbehandlung vor dem Beschichten. . . . .                                          | 166        |
| I.2.5.1    | Mechanische Vorbehandlungsverfahren. . . . .                                        | 166        |
| I.2.5.1.1  | Strahlen. . . . .                                                                   | 166        |
| I.2.5.1.2  | Schleifen. . . . .                                                                  | 170        |
| I.2.5.1.3  | Bürsten . . . . .                                                                   | 179        |
| I.2.5.1.4  | Polieren. . . . .                                                                   | 180        |
| I.2.5.1.5  | Kratzen . . . . .                                                                   | 181        |
| I.2.5.2    | Chemische Vorbehandlungsverfahren . . . . .                                         | 181        |
| I.2.5.2.1  | Chemische Grundlagen . . . . .                                                      | 182        |
| I.2.5.2.2  | Vorbehandlungsverfahren. . . . .                                                    | 184        |

|            |                                                                        |            |
|------------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| I.2.5.2.3  | Versorgung von chemischen Vorbehandlungsanlagen . . . . .              | 198        |
| I.2.5.2.4  | Ansatz, Wartung, Pflege und Instandhaltung . . . . .                   | 199        |
| I.2.5.2.5  | Entsorgung von chemischen Vorbehandlungslösungen . . . . .             | 202        |
| I.2.5.3    | Elektrochemische Vorbehandlungsverfahren . . . . .                     | 202        |
| I.2.5.3.1  | Elektrotechnische Grundlagen . . . . .                                 | 205        |
| I.2.5.3.2  | Elektrochemische Grundlagen . . . . .                                  | 206        |
| I.2.5.3.3  | Vorbehandlungsverfahren. . . . .                                       | 208        |
| I.2.5.3.4  | Versorgung von elektrochemischen Vorbehandlungsanlagen . . . . .       | 208        |
| I.2.5.3.5  | Ansatz, Wartung, Pflege und Instandhaltung . . . . .                   | 212        |
| I.2.5.3.6  | Entsorgung von elektrochemischen Vorbehandlungslösungen . . . . .      | 212        |
| I.2.5.4    | Physikalische Vorbehandlungsverfahren . . . . .                        | 212        |
| I.2.5.5    | Verfahrensauswahl . . . . .                                            | 213        |
| I.2.5.6    | Zwischenreinigungsprozesse . . . . .                                   | 213        |
| I.2.5.6.1  | Wirkung von Verschleppungen . . . . .                                  | 215        |
| I.2.5.6.2  | Verdünnung und Vermischung . . . . .                                   | 215        |
| I.2.5.7    | Nachbehandlung metallischer Werkstücke nach dem Beschichten . . . . .  | 218        |
| I.2.5.7.1  | Zusatzbeschichtung . . . . .                                           | 218        |
| I.2.5.7.2  | Thermische Behandlung . . . . .                                        | 225        |
| I.2.5.7.3  | Trocknung . . . . .                                                    | 226        |
| I.2.5.8    | Arbeits- und Qualitätsplanung . . . . .                                | 228        |
| I.2.5.9    | Qualitätsmanagement, Dokumentation . . . . .                           | 229        |
| I.2.5.10   | Standzeitverlängerung und Abwasserbehandlung . . . . .                 | 230        |
| I.2.6      | Fachbegriffe . . . . .                                                 | 232        |
| I.2.7      | Wiederholungsfragen . . . . .                                          | 236        |
| <b>I.3</b> | <b>Vor- und Nachbehandlung nicht metallischer Werkstücke . . . . .</b> | <b>239</b> |
| I.3.1      | Beschichtungsstoffe und Verfahren . . . . .                            | 239        |
| I.3.1.1    | Oberflächenqualität und Beschichtungsverfahren . . . . .               | 242        |
| I.3.2      | Rohteiloberflächen . . . . .                                           | 243        |
| I.3.2.1    | Eigenschaften . . . . .                                                | 244        |
| I.3.3      | Vorbehandlung vor dem Beschichten . . . . .                            | 244        |
| I.3.3.1    | Mechanische Vorbehandlungsverfahren . . . . .                          | 244        |
| I.3.3.2    | Chemische Vorbehandlungsverfahren . . . . .                            | 246        |
| I.3.3.2.1  | Chemische Grundlagen . . . . .                                         | 248        |
| I.3.3.2.2  | Vorbehandlungsverfahren . . . . .                                      | 248        |
| I.3.3.2.3  | Wartung, Pflege und Instandhaltung . . . . .                           | 250        |

---

|             |                                                                    |            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| I.3.3.3     | Elektrochemische Vorbehandlungsverfahren . . . . .                 | 251        |
| I.3.3.3.1   | Elektrochemische Grundlagen. . . . .                               | 252        |
| I.3.3.3.2   | Wartung, Pflege und Instandhaltung . . . . .                       | 256        |
| I.3.3.4     | Physikalische Vorbehandlungsverfahren. . . . .                     | 256        |
| I.3.3.5     | Verfahrensauswahl . . . . .                                        | 259        |
| I.3.3.6     | Zwischenreinigungsprozesse . . . . .                               | 260        |
| I.3.3.6.1   | Wasser . . . . .                                                   | 260        |
| I.3.3.6.2   | Verschleppung, Konzentration. . . . .                              | 260        |
| I.3.3.7     | Arbeits- und Qualitätsplanung . . . . .                            | 260        |
| I.3.3.8     | Qualitätsmanagement . . . . .                                      | 260        |
| I.3.3.9     | Standzeitverlängerung und Abwasserbehandlung. . . . .              | 262        |
| I.3.4       | Nachbehandlung nicht metallischer Werkstücke . . . . .             | 263        |
| I.3.5       | Fachbegriffe. . . . .                                              | 263        |
| I.3.6       | Wiederholungsfragen . . . . .                                      | 265        |
| <b>II</b>   | <b>Werkstofftechnologien . . . . .</b>                             | <b>267</b> |
| <b>II.4</b> | <b>Vorbereitung von Werkstücken für die Beschichtung . . . . .</b> | <b>267</b> |
| II.4.1      | Werkstoffe . . . . .                                               | 267        |
| II.4.1.1    | Werkstoffarten . . . . .                                           | 267        |
| II.4.1.2    | Werkstoffeigenschaften, Normen. . . . .                            | 271        |
| II.4.1.2.1  | Kennzeichnung und Einteilung<br>von Eisenmetallen . . . . .        | 273        |
| II.4.1.2.2  | Bezeichnungsnormen für Nichteisenmetalle . . . . .                 | 288        |
| II.4.1.3    | Metalle . . . . .                                                  | 289        |
| II.4.1.3.1  | Alkalimetalle . . . . .                                            | 290        |
| II.4.1.3.2  | Erdalkalimetalle. . . . .                                          | 292        |
| II.4.1.3.3  | Erdmetalle . . . . .                                               | 297        |
| II.4.1.3.4  | Metalle der vierten Hauptgruppe des PSE . . . . .                  | 302        |
| II.4.1.3.5  | Metalle der fünften Hauptgruppe des PSE . . . . .                  | 303        |
| II.4.1.3.6  | Nebengruppenelemente. . . . .                                      | 304        |
| II.4.1.3.7  | Metalle der ersten Nebengruppe des PSE. . . . .                    | 304        |
| II.4.1.3.8  | Metalle der zweiten Nebengruppe des PSE . . . . .                  | 312        |
| II.4.1.3.9  | Metalle der dritten bis siebten<br>Nebengruppe des PSE . . . . .   | 315        |
| II.4.1.3.10 | Metalle der achten Nebengruppe des PSE . . . . .                   | 318        |
| II.4.1.4    | Andere Werkstoffe . . . . .                                        | 326        |
| II.4.1.4.1  | Kunststoffe. . . . .                                               | 326        |
| II.4.1.4.2  | Glas, Keramik, Email. . . . .                                      | 331        |
| II.4.1.4.3  | Natürliche organische Werkstoffe . . . . .                         | 333        |
| II.4.1.4.4  | Faserstoffe und Textilien . . . . .                                | 335        |

|          |                                                                               |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| II.4.2   | Fertigungsverfahren. . . . .                                                  | 335 |
| II.4.2.1 | Einteilung . . . . .                                                          | 335 |
| II.4.2.2 | Erzielbare Oberflächen. . . . .                                               | 338 |
| II.4.2.3 | Auswahl . . . . .                                                             | 342 |
| II.4.3   | Werkstücke . . . . .                                                          | 342 |
| II.4.3.1 | Darstellung. . . . .                                                          | 342 |
| II.4.3.2 | Beschichtungsgerechte Konstruktion. . . . .                                   | 342 |
| II.4.3.3 | Messung der Werkstückgeometrie<br>und der Oberflächenbeschaffenheit . . . . . | 343 |
| II.4.3.4 | Wirkung der gemessenen Größen auf die Beschichtung. . . . .                   | 344 |
| II.4.3.5 | Technische Zeichnungen und Skizzen, Normen. . . . .                           | 344 |
| II.4.3.6 | Werkstückberechnung . . . . .                                                 | 345 |
| II.4.3.7 | Transport und Lagerung . . . . .                                              | 346 |
| II.4.4   | Fachbegriffe. . . . .                                                         | 346 |
| II.4.5   | Wiederholungsfragen . . . . .                                                 | 349 |
| Anhang   | . . . . .                                                                     | 351 |