

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                    |          |
|--------------------------------------------------------------------|----------|
| Vorwort zur 2. Auflage .....                                       | V        |
| Vorwort zur 1. Auflage .....                                       | VII      |
| Die Autoren .....                                                  | XXIII    |
| Kurzzeichen von Kunststoffen .....                                 | XXV      |
| <b>1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik .....</b> | <b>1</b> |
| <b>2 Reinigung und Aktivierung .....</b>                           | <b>3</b> |
| 2.1 Einleitung .....                                               | 3        |
| 2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie .....           | 4        |
| 2.3 Reinigungsverfahren .....                                      | 8        |
| 2.3.1 Manuelle Reinigung .....                                     | 8        |
| 2.3.2 Mechanische Reinigung .....                                  | 9        |
| 2.3.3 Schwertbürstenreinigung .....                                | 10       |
| 2.3.4 Ionisation .....                                             | 15       |
| 2.3.5 Trockeneisreinigung .....                                    | 19       |
| 2.3.6 Laserreinigung .....                                         | 22       |
| 2.3.7 Nasschemische Reinigung .....                                | 27       |
| 2.4 Aktivierungsverfahren .....                                    | 29       |
| 2.4.1 Beflammung .....                                             | 30       |
| 2.4.2 Corona-Behandlung .....                                      | 34       |
| 2.4.2.1 Direkte Coronaentladung .....                              | 35       |
| 2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung .....                            | 36       |
| 2.4.3 VUV-Vorbehandlung .....                                      | 41       |
| 2.4.4 Plasmatechnologie .....                                      | 45       |
| 2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma) .....                   | 45       |
| 2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma) .....                        | 49       |
| 2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung .....                   | 50       |

|           |                                                                        |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.4.2.2 | Plasmareinigung .....                                                  | 50        |
| 2.4.4.2.3 | Beschichtung im Niederdruckplasma<br>(Plasmapolymerisation) .....      | 50        |
| 2.4.4.2.4 | Plasmaätzen .....                                                      | 51        |
| 2.4.5     | Fluorierung .....                                                      | 54        |
| 2.5       | Schlussbetrachtung .....                                               | 57        |
|           | Literatur zu Kapitel 2 .....                                           | 58        |
| <b>3</b>  | <b>Beschichtungstechnik .....</b>                                      | <b>61</b> |
| 3.1       | Einleitung .....                                                       | 61        |
| 3.2       | Galvanisieren von Kunststoffen .....                                   | 62        |
| 3.2.1     | Verfahrensschritte .....                                               | 63        |
| 3.2.1.1   | Beizen .....                                                           | 64        |
| 3.2.1.2   | Reduzieren .....                                                       | 65        |
| 3.2.1.3   | Aktivieren und Beschleunigen .....                                     | 65        |
| 3.2.1.4   | Chemische Metallisierung .....                                         | 66        |
| 3.2.1.5   | Elektrolytische Galvanisierung .....                                   | 67        |
| 3.2.1.5.1 | Vornickel .....                                                        | 68        |
| 3.2.1.5.2 | Kupfer .....                                                           | 69        |
| 3.2.1.5.3 | Nickel .....                                                           | 69        |
| 3.2.1.5.4 | Chrom .....                                                            | 70        |
| 3.2.2     | Spezielle Aspekte .....                                                | 71        |
| 3.2.2.1   | Partielle Galvanisierung .....                                         | 71        |
| 3.2.2.2   | Ausschussproblematik .....                                             | 72        |
| 3.2.2.3   | Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion. ....                 | 73        |
| 3.2.2.3.1 | Scharfe Ecken und Kanten .....                                         | 74        |
| 3.2.2.3.2 | Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen .....                        | 75        |
| 3.2.2.3.3 | Sacklöcher und Hinterschneidungen .....                                | 75        |
| 3.2.2.3.4 | Nuten, Schlitzte und Bohrungen .....                                   | 75        |
| 3.2.2.3.5 | Große und ebene Flächen .....                                          | 76        |
| 3.2.2.3.6 | Anschnittposition .....                                                | 76        |
| 3.2.2.3.7 | Vorteile .....                                                         | 76        |
| 3.2.2.3.8 | Nachteile .....                                                        | 76        |
| 3.2.3     | Prüftechnik .....                                                      | 77        |
| 3.2.4     | Verarbeitbare Kunststoffe .....                                        | 78        |
| 3.2.4.1   | Acrylnitril-Butadien-Styrol .....                                      | 78        |
| 3.2.4.2   | Polyamid .....                                                         | 79        |
| 3.2.4.3   | Polypropylen .....                                                     | 81        |
| 3.2.4.4   | Weitere Kunststoffe .....                                              | 82        |
| 3.2.5     | Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele .....                            | 82        |
| 3.3       | Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition) ..... | 86        |

|             |                                                           |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.1       | Verhalten der Kunststoffe im Vakuum .....                 | 88  |
| 3.3.2       | Reinigung und Vorbehandlung .....                         | 89  |
| 3.3.3       | Thermisches Verdampfen .....                              | 92  |
| 3.3.3.1     | Direkte Widerstandsbeheizung .....                        | 92  |
| 3.3.3.2     | Indirekt beheizte Quellen .....                           | 94  |
| 3.3.4       | Elektronenstrahlverdampfen .....                          | 95  |
| 3.3.5       | Hochleistungs-Kathodenzerstäuben .....                    | 97  |
| 3.3.6       | Anlagentechnik und Bauteilbestückung .....                | 99  |
| 3.3.7       | Anwendungsbeispiele .....                                 | 103 |
| 3.3.7.1     | Bedampfung von Bahnware .....                             | 103 |
| 3.3.7.1.1   | Anwendungen auf Kunststofffolien .....                    | 104 |
| 3.3.7.1.1.1 | Antistatische Verpackungen .....                          | 104 |
| 3.3.7.1.1.2 | Kondensatorfolien .....                                   | 105 |
| 3.3.7.1.1.3 | Lebensmittelverpackung .....                              | 105 |
| 3.3.7.2     | Optische und dekorative Schichten .....                   | 106 |
| 3.3.7.3     | Schichten für Elektronik und Elektrotechnik .....         | 112 |
| 3.3.7.3.1   | Abschirmschichten .....                                   | 112 |
| 3.3.7.3.2   | Aluminium-Abschirmschichten .....                         | 113 |
| 3.3.7.3.3   | Kupfer-Abschirmschichten .....                            | 115 |
| 3.3.7.3.4   | Ableitung von Ladungen .....                              | 116 |
| 3.4         | Thermisches Spritzen .....                                | 117 |
| 3.4.1       | Flamecon-Verfahren .....                                  | 117 |
| 3.5         | Lackiertechnik .....                                      | 119 |
| 3.5.1       | Lacksysteme .....                                         | 120 |
| 3.5.1.1     | Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme .....        | 121 |
| 3.5.1.1.1   | Grundlack .....                                           | 121 |
| 3.5.1.1.2   | Zwischenlack .....                                        | 121 |
| 3.5.1.1.3   | Decklack .....                                            | 121 |
| 3.5.1.2     | Einteilung nach Farbe und Effekt .....                    | 122 |
| 3.5.1.3     | Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung ..... | 122 |
| 3.5.1.4     | Zusammensetzung der Lacksysteme .....                     | 124 |
| 3.5.1.4.1   | Bindemittel .....                                         | 125 |
| 3.5.1.4.2   | Lösemittel .....                                          | 125 |
| 3.5.1.4.3   | Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel .....               | 126 |
| 3.5.1.4.4   | Additive .....                                            | 127 |
| 3.5.1.5     | Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen .....        | 127 |
| 3.5.1.5.1   | Polyaddition .....                                        | 128 |
| 3.5.1.5.2   | Polykondensation .....                                    | 129 |
| 3.5.1.6     | Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen .....                 | 130 |
| 3.5.2       | Applikationstechnik .....                                 | 130 |
| 3.5.2.1     | Applikationsverfahren .....                               | 131 |

|             |                                                                                                |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.2.1.1   | Direkte Applikationsverfahren.....                                                             | 131 |
| 3.5.2.1.1.1 | Tauchen.....                                                                                   | 131 |
| 3.5.2.1.1.2 | Fluten .....                                                                                   | 132 |
| 3.5.2.1.1.3 | Rakeln .....                                                                                   | 132 |
| 3.5.2.1.2   | Indirekte Applikationsverfahren .....                                                          | 132 |
| 3.5.2.1.2.1 | Sprüh-/Spritzapplikation .....                                                                 | 133 |
| 3.5.2.1.2.2 | Airlesszerstäuben .....                                                                        | 133 |
| 3.5.2.1.2.3 | Pneumatisches Zerstäuben.....                                                                  | 133 |
| 3.5.2.1.2.4 | Hochrotationszerstäubung .....                                                                 | 134 |
| 3.5.2.1.2.5 | Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer<br>Unterstützung .....                          | 135 |
| 3.5.2.2     | Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls                                          | 138 |
| 3.5.2.2.1   | Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.....                                                         | 138 |
| 3.5.2.2.2   | Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.....                                              | 140 |
| 3.5.2.3     | Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis.....                                          | 141 |
| 3.5.2.4     | Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten .....                                            | 143 |
| 3.5.2.5     | Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität ..                                            | 144 |
| 3.5.2.6     | Entwicklungsarbeiten .....                                                                     | 146 |
| 3.5.3       | Anwendungen .....                                                                              | 148 |
| 3.5.3.1     | Automobilindustrie Pkw .....                                                                   | 149 |
| 3.5.3.1.1   | Außenteile.....                                                                                | 150 |
| 3.5.3.1.2   | Innenteile .....                                                                               | 151 |
| 3.5.3.1.3   | Motorraumkomponenten und Aggregate .....                                                       | 152 |
| 3.5.3.1.4   | Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) ...                                           | 153 |
| 3.5.3.1.4.1 | Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel<br>und Dachmodule (Duromere Werkstoffe) ..... | 155 |
| 3.5.3.1.5   | Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer-<br>Kombination) .....                                  | 155 |
| 3.5.3.1.6   | Carbonfaser-Sichtoptik .....                                                                   | 157 |
| 3.5.3.1.7   | Glasersatz und Automotive-Glazing.....                                                         | 158 |
| 3.5.3.2     | Nutzfahrzeugindustrie .....                                                                    | 159 |
| 3.5.4       | Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.....                                                | 160 |
| 3.5.4.1     | Schutzwirkung und Protektion.....                                                              | 161 |
| 3.5.4.2     | Aussehen, Optik und Dekoration .....                                                           | 162 |
| 3.5.4.3     | Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften ..                                            | 162 |
| 3.5.5       | Lackeigenschaften.....                                                                         | 163 |
| 3.5.6       | Lackentwicklung.....                                                                           | 164 |
| 3.5.6.1     | Reduzierung der Zahl der Schichten .....                                                       | 164 |
| 3.5.6.2     | Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.....                                              | 165 |
| 3.5.6.3     | Schnellere Trocknung .....                                                                     | 165 |
| 3.5.6.4     | Wirtschaftlichere Applikationen .....                                                          | 166 |

|                              |                                                                    |            |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.6.5                      | Standardisierung zu Einheitsprodukten .....                        | 166        |
| 3.5.6.6                      | Neue Produkttechnologien .....                                     | 166        |
| 3.5.6.7                      | Neue Applikationstechniken .....                                   | 167        |
| 3.5.7                        | Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder ..... | 167        |
| 3.5.7.1                      | Spezifikationen .....                                              | 167        |
| 3.5.7.2                      | Fehlersuche und Fehleranalyse .....                                | 169        |
| 3.5.7.3                      | Kategorisierung von Fehlerbildern .....                            | 170        |
| 3.5.7.3.1                    | Blasen .....                                                       | 171        |
| 3.5.7.3.2                    | Fasereinschluss .....                                              | 173        |
| 3.5.7.3.3                    | Fremdpartikeleinschluss .....                                      | 173        |
| 3.5.7.3.4                    | Substratfehler .....                                               | 174        |
| 3.5.7.3.5                    | Krater .....                                                       | 174        |
| 3.5.7.3.6                    | Rückstand auf Substrat .....                                       | 175        |
| 3.5.7.3.7                    | Härterhaut .....                                                   | 175        |
| 3.5.7.3.8                    | Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test<br>DIN 55662 .....        | 176        |
| 3.5.7.3.9                    | Fehlstellen nach Bewitterung .....                                 | 177        |
| 3.5.7.3.10                   | Pilzbefall .....                                                   | 178        |
| Literatur zu Kapitel 3 ..... |                                                                    | 179        |
| <b>4</b>                     | <b>Drucktechnik .....</b>                                          | <b>183</b> |
| 4.1                          | Einleitung .....                                                   | 183        |
| 4.2                          | Siebdruck .....                                                    | 186        |
| 4.2.1                        | Verfahren .....                                                    | 186        |
| 4.2.1.1                      | Grafischer Siebdruck .....                                         | 187        |
| 4.2.1.2                      | Industriesiebdruck .....                                           | 188        |
| 4.2.1.3                      | Schaltungsdruck .....                                              | 188        |
| 4.2.1.4                      | Glasbedruckung und Beschichtungen .....                            | 188        |
| 4.2.1.5                      | Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke .....                  | 188        |
| 4.2.1.6                      | Textil-Siebdruck .....                                             | 189        |
| 4.2.2                        | Siebdruckform .....                                                | 189        |
| 4.2.2.1                      | Siebdruckrahmen .....                                              | 189        |
| 4.2.2.2                      | Schablonenträger .....                                             | 190        |
| 4.2.2.3                      | Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers .....            | 192        |
| 4.2.2.4                      | Bindeart .....                                                     | 193        |
| 4.2.2.5                      | Gewebegeometrie .....                                              | 193        |
| 4.2.2.6                      | Spannen des Schablonenträgers .....                                | 195        |
| 4.2.2.7                      | Schablonenherstellung .....                                        | 197        |
| 4.2.2.7.1                    | Gewebevorbehandlung .....                                          | 198        |
| 4.2.2.7.2                    | Schablonenherstellungsverfahren .....                              | 198        |
| 4.2.2.7.3                    | Fotomechanische Verfahren .....                                    | 198        |

|           |                                                                                   |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.2.7.4 | Direktschablonen.....                                                             | 199 |
| 4.2.2.7.5 | Direktfilm/Kapillarfilm.....                                                      | 201 |
| 4.2.2.7.6 | Indirektschablone .....                                                           | 202 |
| 4.2.2.7.7 | Galvanische- und Laserverfahren .....                                             | 202 |
| 4.2.2.8   | Bebildung der Siebdruckform.....                                                  | 203 |
| 4.2.2.8.1 | Kontaktkopie .....                                                                | 203 |
| 4.2.2.8.2 | Projektionsbelichtung.....                                                        | 205 |
| 4.2.2.8.3 | Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen .....                                     | 206 |
| 4.2.3     | Druckvorgang .....                                                                | 207 |
| 4.2.3.1   | Rakel .....                                                                       | 207 |
| 4.2.3.2   | Hauptdruckprinzipien.....                                                         | 209 |
| 4.2.3.2.1 | Flachbett-Siebdruck.....                                                          | 209 |
| 4.2.3.2.2 | Flachform-Zylindersiebdruck.....                                                  | 211 |
| 4.2.3.2.3 | Rotationssiebdruck .....                                                          | 211 |
| 4.2.3.2.4 | Rund- und Körpersiebdruck.....                                                    | 213 |
| 4.2.4     | Trocknung.....                                                                    | 213 |
| 4.2.5     | Ausblick.....                                                                     | 213 |
| 4.3       | Flexodruck .....                                                                  | 214 |
| 4.3.1     | Bauweisen von Flexodruckmaschinen .....                                           | 215 |
| 4.3.1.1   | Zentralzylinderdruckmaschinen .....                                               | 215 |
| 4.3.1.2   | Reihenflexodruckmaschinen .....                                                   | 216 |
| 4.3.1.3   | Bogenflexodruckmaschinen .....                                                    | 217 |
| 4.3.2     | Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen.....                                  | 218 |
| 4.3.2.1   | Fotopolymere Flexodruckformen .....                                               | 219 |
| 4.3.2.2   | Direktgravur.....                                                                 | 221 |
| 4.3.3     | Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung. ....                    | 222 |
| 4.3.4     | Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck ....                      | 222 |
| 4.3.4.1   | Druckwerk .....                                                                   | 224 |
| 4.3.4.2   | Druckformsleeve und Druckformzylinder .....                                       | 224 |
| 4.3.4.3   | Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem. ....                             | 227 |
| 4.3.5     | Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine.....                                 | 231 |
| 4.3.6     | Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie.....                        | 232 |
| 4.4       | Offsetdruck .....                                                                 | 233 |
| 4.4.1     | Offsetdruckform und Herstellungsprozess .....                                     | 234 |
| 4.4.1.1   | Druckwerk – Komponenten Druckplatten-,<br>Gummituch- und Gegendruckzylinder ..... | 237 |
| 4.4.1.2   | Druckwerk – Komponente Farbwerk und<br>unterschiedliche Varianten.....            | 238 |
| 4.4.1.3   | Druckwerk – Komponente Feuchtwerk.....                                            | 242 |
| 4.4.2     | Maschinenbauweisen.....                                                           | 244 |
| 4.4.2.1   | Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise.....                                  | 244 |

|             |                                                                          |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.2.2     | Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise ..... | 245 |
| 4.4.2.3     | Rollenoffsetdruckmaschinen .....                                         | 246 |
| 4.4.2.4     | Heat-Set-Rollenoffsetdruck .....                                         | 246 |
| 4.4.2.5     | Zeitungsrotationen (Coldset) .....                                       | 247 |
| 4.4.3       | Anwendung des Offsetdrucks .....                                         | 248 |
| 4.5         | Tiefdruck .....                                                          | 248 |
| 4.5.1       | Einsatzgebiete .....                                                     | 250 |
| 4.5.2       | Aufbau der Tiefdruckform .....                                           | 251 |
| 4.5.2.1     | Dünnschichtverfahren .....                                               | 253 |
| 4.5.2.2     | Ballardhautverfahren .....                                               | 253 |
| 4.5.2.3     | Dickschichtverfahren .....                                               | 253 |
| 4.5.3       | Herstellung der Tiefdruckform .....                                      | 254 |
| 4.5.3.1     | Elektromechanische Gravur .....                                          | 255 |
| 4.5.3.2     | Laser-Ätz-Verfahren .....                                                | 259 |
| 4.5.3.3     | Lasergravur .....                                                        | 262 |
| 4.5.4       | Tiefdruckfarbe .....                                                     | 265 |
| 4.5.5       | Tiefdruckmaschinen .....                                                 | 266 |
| 4.5.5.1     | Trocknung .....                                                          | 268 |
| 4.5.5.2     | Schön- und Widerdruck .....                                              | 269 |
| 4.5.5.3     | Automatischer Rollenwechsel .....                                        | 270 |
| 4.5.5.4     | Elektrostatische Druckunterstützung (ESA) .....                          | 271 |
| 4.6         | Digitaldruck .....                                                       | 272 |
| 4.6.1       | Kategorien des Digitaldrucks .....                                       | 272 |
| 4.6.2       | Einsatzgebiete .....                                                     | 274 |
| 4.6.3       | Datenaufbereitung für den Digitaldruck .....                             | 275 |
| 4.6.3.1     | Raster Image Processor .....                                             | 275 |
| 4.6.3.2     | Raster .....                                                             | 275 |
| 4.6.4       | Elektrofotografie .....                                                  | 277 |
| 4.6.4.1     | Druckprozess .....                                                       | 277 |
| 4.6.4.1.1   | Aufladung .....                                                          | 277 |
| 4.6.4.1.2   | Belichtung .....                                                         | 277 |
| 4.6.4.1.3   | Entwicklung .....                                                        | 277 |
| 4.6.4.1.4   | Farbübertragung .....                                                    | 278 |
| 4.6.4.1.5   | Tonerfixierung .....                                                     | 278 |
| 4.6.4.1.6   | Reinigung .....                                                          | 278 |
| 4.6.4.2     | Systemkomponenten .....                                                  | 279 |
| 4.6.4.2.1   | Fotoleiter .....                                                         | 279 |
| 4.6.4.2.2   | Bebildereinheit .....                                                    | 280 |
| 4.6.4.2.2.1 | Aufladungseinheit .....                                                  | 280 |
| 4.6.4.2.2.2 | Zeichengenerator .....                                                   | 281 |

|           |                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------|-----|
| 4.6.4.2.3 | Entwicklungseinheit und Toner .....                   | 281 |
| 4.6.4.2.4 | Tonerfixiereinheit .....                              | 283 |
| 4.6.4.3   | Maschinenkonzepte .....                               | 283 |
| 4.6.4.4   | Einsatzgebiete .....                                  | 284 |
| 4.6.5     | Magnetografie .....                                   | 284 |
| 4.6.5.1   | Druckprozess .....                                    | 284 |
| 4.6.5.1.1 | Bebilderung .....                                     | 285 |
| 4.6.5.1.2 | Entwicklung .....                                     | 285 |
| 4.6.5.1.3 | Retouching .....                                      | 285 |
| 4.6.5.1.4 | Farbübertragung .....                                 | 285 |
| 4.6.5.1.5 | Fixierung .....                                       | 286 |
| 4.6.5.1.6 | Reinigung .....                                       | 286 |
| 4.6.5.1.7 | Löschen der Trommel .....                             | 286 |
| 4.6.5.2   | Maschinenkomponenten .....                            | 286 |
| 4.6.5.2.1 | Bebilderungstrommel .....                             | 286 |
| 4.6.5.2.2 | Bebilderungseinheit .....                             | 286 |
| 4.6.5.2.3 | Toner .....                                           | 286 |
| 4.6.5.2.4 | Fixierungseinheit .....                               | 287 |
| 4.6.6     | Thermografie .....                                    | 287 |
| 4.6.6.1   | Direkte Thermografie .....                            | 287 |
| 4.6.6.2   | Transferthermografie .....                            | 288 |
| 4.6.6.2.1 | Thermotransfer .....                                  | 288 |
| 4.6.6.2.2 | Thermosublimation .....                               | 289 |
| 4.6.6.3   | Maschinenkomponenten .....                            | 290 |
| 4.6.6.3.1 | Farbträgerband .....                                  | 290 |
| 4.6.6.3.2 | Bebilderungseinheit .....                             | 291 |
| 4.6.6.4   | Einsatzgebiete .....                                  | 291 |
| 4.6.7     | InkJet .....                                          | 292 |
| 4.6.7.1   | Continuous-InkJet-Technologie .....                   | 294 |
| 4.6.7.1.1 | Binary-Deflecting .....                               | 294 |
| 4.6.7.1.2 | Multi-Deflecting .....                                | 295 |
| 4.6.7.2   | Drop-on-Demand-Technologie .....                      | 295 |
| 4.6.7.2.1 | Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet) ..... | 295 |
| 4.6.7.2.2 | Piezo-InkJet .....                                    | 296 |
| 4.6.7.3   | Verdruckstoffe .....                                  | 297 |
| 4.6.7.4   | Maschinenkonzepte .....                               | 298 |
| 4.6.7.4.1 | InkJet-Arrays .....                                   | 298 |
| 4.6.7.4.2 | Oszillierende oder stationäre Drucksysteme .....      | 298 |
| 4.6.7.5   | Einsatzgebiete .....                                  | 299 |
| 4.7       | Tampondruck .....                                     | 301 |
| 4.7.1     | Druckform .....                                       | 302 |

|           |                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------|-----|
| 4.7.1.1   | Klischeetypen.....                                    | 302 |
| 4.7.1.2   | Kunststoffklischee.....                               | 303 |
| 4.7.1.3   | Band- und Dünnstahlklischee.....                      | 304 |
| 4.7.1.4   | Stahlklischees.....                                   | 305 |
| 4.7.1.5   | Keramikklichees.....                                  | 305 |
| 4.7.1.6   | Laser-Klischee.....                                   | 306 |
| 4.7.2     | Rasterung im Tampondruck.....                         | 306 |
| 4.7.3     | Stanzung und Lochung.....                             | 307 |
| 4.7.4     | Klischeetiefe.....                                    | 307 |
| 4.7.5     | Tampon.....                                           | 307 |
| 4.7.5.1   | Herstellung.....                                      | 308 |
| 4.7.5.2   | Tamponeigenschaften.....                              | 308 |
| 4.7.5.3   | Tamponform.....                                       | 308 |
| 4.7.5.4   | Tamponhärte.....                                      | 309 |
| 4.7.5.5   | Tamponvolumen.....                                    | 309 |
| 4.7.6     | Druckvorgang.....                                     | 309 |
| 4.7.7     | Druckfarben.....                                      | 311 |
| 4.7.8     | Maschinentechnik.....                                 | 311 |
| 4.7.8.1   | Farbsystem.....                                       | 311 |
| 4.7.8.1.1 | Offenes System.....                                   | 311 |
| 4.7.8.1.2 | Geschlossene Systeme.....                             | 313 |
| 4.7.8.2   | Tamponbewegung.....                                   | 314 |
| 4.7.8.2.1 | Vertikale Tamponbewegung.....                         | 314 |
| 4.7.8.2.2 | Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....         | 315 |
| 4.7.8.2.3 | Rotative Bewegung.....                                | 316 |
| 4.7.8.3   | Antriebstechniken.....                                | 317 |
| 4.7.8.3.1 | Elektro-mechanischer Antrieb.....                     | 317 |
| 4.7.8.3.2 | Pneumatischer Antrieb.....                            | 317 |
| 4.7.8.3.3 | Hydraulischer Antrieb.....                            | 318 |
| 4.7.8.4   | Druckformat.....                                      | 318 |
| 4.7.8.5   | Anzahl der Druckfarben.....                           | 318 |
| 4.7.8.6   | Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....        | 319 |
| 4.7.8.6.1 | Carreetisch.....                                      | 320 |
| 4.7.8.6.2 | Rundschaftteller.....                                 | 321 |
| 4.7.8.6.3 | Linearband.....                                       | 321 |
| 4.7.8.6.4 | Taktvorschubgerät.....                                | 322 |
| 4.7.9     | Rotationsdruck.....                                   | 323 |
| 4.8       | Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung..... | 324 |
| 4.8.1     | Offsetdruck.....                                      | 326 |
| 4.8.2     | Flexodruck.....                                       | 327 |
| 4.8.3     | Tiefdruck.....                                        | 328 |

|                             |                                                              |            |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 4.8.4                       | Tampondruck.....                                             | 329        |
| 4.8.5                       | Siebdruck.....                                               | 330        |
| 4.8.6                       | Non-Impact-Printing.....                                     | 331        |
| 4.8.7                       | Zusammenfassung.....                                         | 333        |
| Literatur zu Kapitel 4..... |                                                              | 334        |
| <b>5</b>                    | <b>Laserstrahlbeschriftung.....</b>                          | <b>335</b> |
| 5.1                         | Einführung.....                                              | 335        |
| 5.2                         | Warum Laserbeschriftung?.....                                | 337        |
| 5.3                         | Lasertypen für das Beschriften.....                          | 338        |
| 5.3.1                       | Sealed-off CO <sub>2</sub> -Laser.....                       | 338        |
| 5.3.2                       | Excimerlaser.....                                            | 338        |
| 5.3.3                       | Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.....                 | 338        |
| 5.3.4                       | Faserlaser.....                                              | 340        |
| 5.3.5                       | Diodenlaser.....                                             | 341        |
| 5.4                         | Laserbeschriftungstechniken.....                             | 342        |
| 5.4.1                       | Prinzip der Vektorbeschriftung.....                          | 342        |
| 5.4.2                       | Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.....                 | 343        |
| 5.4.3                       | Prinzip des Rasterverfahrens.....                            | 344        |
| 5.4.4                       | Verfahren im Vergleich.....                                  | 344        |
| 5.5                         | Strahlqualität.....                                          | 345        |
| 5.6                         | Effekte bei der Laserbeschriftung.....                       | 348        |
| 5.6.1                       | Kunststoffe.....                                             | 348        |
| 5.6.1.1                     | Die Rolle der Laserwellenlänge.....                          | 350        |
| 5.6.1.2                     | Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.....      | 351        |
| 5.6.1.3                     | Welche Kunststoffe sind beschriftbar?.....                   | 353        |
| 5.6.2                       | Metalle.....                                                 | 357        |
| 5.6.3                       | Tiefengravur.....                                            | 359        |
| 5.7                         | Rückverfolgbarkeit in der Industrie.....                     | 361        |
| 5.7.1                       | Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).....                  | 362        |
| 5.7.2                       | Aufbau des DataMatrix-Code.....                              | 363        |
| 5.7.3                       | Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.....          | 364        |
| 5.7.4                       | Auslesen der Codes.....                                      | 365        |
| 5.7.4.1                     | Kernpunkte der AIM.....                                      | 365        |
| 5.7.4.1.1                   | Kontrast (Symbol Contrast).....                              | 365        |
| 5.7.4.1.2                   | Zellengröße (Print-Growth).....                              | 365        |
| 5.7.4.1.3                   | Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).....             | 366        |
| 5.7.4.1.4                   | Ungenutzte Fehlerkorrektur<br>(Unused-Error-Correction)..... | 366        |
| 5.7.4.1.5                   | Gesamtgüte (Overall-Grade).....                              | 366        |
| 5.7.4.2                     | Prozesssichere Lesbarkeit.....                               | 367        |

|         |                                                            |     |
|---------|------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.4.3 | Besonderheiten .....                                       | 368 |
| 5.8     | Tag-Nacht-Design.....                                      | 369 |
| 5.9     | Laserbeschriftungsfolien .....                             | 371 |
| 5.10    | Leiterplattenbeschriftung.....                             | 371 |
| 5.11    | Weitere Anwendungsbeispiele.....                           | 373 |
| 5.12    | Handlingsysteme.....                                       | 375 |
| 5.12.1  | Doppelkopfsystem.....                                      | 376 |
| 5.12.2  | Marking-on-the-Fly.....                                    | 376 |
| 5.12.3  | Kostenaspekte .....                                        | 377 |
| 5.12.4  | Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit .....                  | 378 |
| 5.13    | Bewertung und Fehlermöglichkeiten .....                    | 379 |
| 5.14    | Zusammenfassung .....                                      | 380 |
|         | Literatur zu Kapitel 5.....                                | 381 |
| <br>    |                                                            |     |
| 6       | Etikettieren .....                                         | 383 |
| 6.1     | Kaltleim-Etikettierung .....                               | 385 |
| 6.2     | Heißleim-Etikettierung .....                               | 386 |
| 6.3     | Sleeve-Etikettierung .....                                 | 387 |
| 6.4     | Haftetikettierung.....                                     | 388 |
|         | Literatur zu Kapitel 6.....                                | 389 |
| <br>    |                                                            |     |
| 7       | Beflocken von Kunststoffen.....                            | 391 |
| 7.1     | Einführung.....                                            | 391 |
| 7.2     | Technische Grundlagen der Beflockung.....                  | 391 |
| 7.3     | Verfahrensablauf.....                                      | 396 |
| 7.3.1   | Vorbehandlung .....                                        | 396 |
| 7.3.2   | Klebstoffauftrag.....                                      | 396 |
| 7.3.3   | Beflockung.....                                            | 397 |
| 7.3.4   | Trocknung .....                                            | 397 |
| 7.3.5   | Endreinigung.....                                          | 397 |
| 7.4     | Flockklebstoffe.....                                       | 398 |
| 7.5     | Flockfasern.....                                           | 399 |
| 7.6     | Flockgeräte und Flockanlagen .....                         | 401 |
| 7.7     | Prüfgeräte und Prüfverfahren .....                         | 408 |
| 7.7.1   | Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock .....   | 408 |
| 7.7.2   | Springprüfung.....                                         | 410 |
| 7.7.3   | Trennfähigkeitsprüfung.....                                | 414 |
| 7.7.4   | Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse .... | 417 |
| 7.7.5   | Restflockmessung.....                                      | 418 |
| 7.7.6   | Hochspannungsprüfung.....                                  | 419 |
| 7.7.7   | Abriebprüfung.....                                         | 420 |

|           |                                                                    |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.7.8     | Ausreißprüfung.....                                                | 422        |
| 7.8       | Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele ..... | 423        |
|           | Literatur zu Kapitel 7.....                                        | 430        |
| <b>8</b>  | <b>Oberflächenstrukturierung .....</b>                             | <b>431</b> |
| 8.1       | Einleitung.....                                                    | 431        |
| 8.2       | Funkenerosion.....                                                 | 434        |
| 8.3       | Photoätztechnik.....                                               | 438        |
| 8.4       | Strahlverfahren .....                                              | 441        |
| 8.5       | Laserstrukturieren .....                                           | 442        |
| 8.6       | Course4®-Technologie.....                                          | 444        |
| 8.7       | Sprengprägen.....                                                  | 446        |
| 8.8       | Cera-Shibo-Technologie.....                                        | 450        |
|           | Literatur zu Kapitel 8.....                                        | 451        |
| <b>9</b>  | <b>Folienhinterspritzen .....</b>                                  | <b>453</b> |
| 9.1       | Einleitung.....                                                    | 453        |
| 9.2       | Inmold-Decoration (IMD-Verfahren) .....                            | 453        |
| 9.2.1     | IMD-Prozess.....                                                   | 454        |
| 9.2.2     | IMD-Folien.....                                                    | 456        |
| 9.2.3     | IMD-Werkzeug.....                                                  | 457        |
| 9.2.4     | IMD-Vorschubgerät.....                                             | 457        |
| 9.2.5     | Spezielle Aspekte .....                                            | 459        |
| 9.2.6     | Prüftechnik .....                                                  | 460        |
| 9.2.7     | Verwendbare Kunststoffe.....                                       | 460        |
| 9.2.8     | Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....                         | 461        |
| 9.3       | Klassisches Folienhinterspritzen.....                              | 464        |
| 9.3.1     | FIM-Prozess .....                                                  | 464        |
| 9.3.2     | Bedrucken von Folien.....                                          | 467        |
| 9.3.3     | Verformen von Folien.....                                          | 467        |
| 9.3.4     | Beschneiden von Folien .....                                       | 468        |
| 9.3.5     | Fixierung im Werkzeug .....                                        | 469        |
| 9.3.6     | Werkzeugtechnik .....                                              | 469        |
| 9.3.7     | Spezielle Aspekte .....                                            | 470        |
| 9.3.8     | Prüftechnik .....                                                  | 472        |
| 9.3.9     | Verwendbare Kunststoffe.....                                       | 472        |
| 9.3.10    | Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....                         | 473        |
|           | Literatur zu Kapitel 9.....                                        | 479        |
| <b>10</b> | <b>Prüftechnik .....</b>                                           | <b>481</b> |
| 10.1      | Einleitung.....                                                    | 481        |

|                                                                          |         |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|
| 10.2 Glanz und Glanzmessung.....                                         | 484     |
| 10.2.1 Einstrahlungswinkel.....                                          | 487     |
| 10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....                                           | 487     |
| 10.2.3 Blenden-Aperturwinkel .....                                       | 488     |
| 10.2.4 Reflektometerwert .....                                           | 488     |
| 10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung .....                               | 489     |
| 10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung .....                            | 498     |
| 10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb .....                       | 502     |
| 10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....                                        | 502     |
| 10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung .. | 512     |
| 10.7 Haftung.....                                                        | 520     |
| Literatur zu Kapitel 10. ....                                            | 526     |
| <br>Stichwortverzeichnis.....                                            | <br>527 |