

# Inhaltsverzeichnis

|                                             |             |                                                 |           |
|---------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....                        | <b>V</b>    | <b>2.3 Werkstoffeigenschaften</b> .....         | <b>22</b> |
|                                             |             | 2.3.1 Werkstoffbelastungen .....                | 22        |
|                                             |             | 2.3.2 Werkstoffprüfung .....                    | 23        |
| <b>Der Autor</b> .....                      | <b>VII</b>  | <b>2.4 Metalle</b> .....                        | <b>24</b> |
|                                             |             | 2.4.1 Stahl .....                               | 26        |
|                                             |             | 2.4.1.1 Legierungsbestandteile von Stahl .....  | 28        |
|                                             |             | 2.4.1.2 Stahllarten .....                       | 28        |
|                                             |             | 2.4.1.3 Stahlbezeichnung .....                  | 29        |
|                                             |             | 2.4.2 Gusseisen .....                           | 32        |
|                                             |             | 2.4.3 Edelstähle .....                          | 32        |
|                                             |             | 2.4.4 Seltene Erden .....                       | 33        |
|                                             |             | 2.4.5 Aluminium .....                           | 34        |
|                                             |             | 2.4.5.1 Herstellprozess von Aluminium .....     | 35        |
|                                             |             | 2.4.5.2 Aluminiumlegierungen .....              | 35        |
|                                             |             | 2.4.5.3 Anwendungen von Aluminium .....         | 36        |
|                                             |             | 2.4.6 Zink .....                                | 37        |
| <b>Videoübersicht</b> .....                 | <b>XIII</b> | <b>2.5 Kunststoffe</b> .....                    | <b>39</b> |
|                                             |             | 2.5.1 Gewinnung .....                           | 39        |
|                                             |             | 2.5.2 Arten .....                               | 41        |
|                                             |             | 2.5.3 Granulat .....                            | 42        |
|                                             |             | 2.5.4 Verwendung von Kunststoffen .....         | 43        |
| <b>1 Basisinformationen</b> .....           | <b>1</b>    | <b>2.6 Neue Materialien</b> .....               | <b>45</b> |
| 1.1 Produktentwicklungsprozess .....        | 1           | <b>3 Fertigungsverfahren</b> .....              | <b>49</b> |
| 1.1.1 Produktentscheidungskriterien .....   | 2           | 3.1 Urformen .....                              | 50        |
| 1.1.2 Produktdokumente – Zeichnungen .....  | 2           | 3.1.1 Urformen aus dem flüssigen Zustand ....   | 50        |
| 1.2 Produktionstechnik .....                | 3           | 3.1.1.1 Schwerkraftgießen .....                 | 51        |
| 1.2.1 Fertigungstechnik .....               | 4           | 3.1.1.2 Druckgießen .....                       | 52        |
| 1.2.2 Verfahrenstechnik .....               | 5           | 3.1.1.3 Niederdruckgießen .....                 | 53        |
| 1.3 Industrie 4.0 .....                     | 5           | 3.1.1.4 Schleudergießen .....                   | 54        |
| 1.4 Produktionssystem .....                 | 7           | 3.1.1.5 Stranggießen .....                      | 55        |
| 1.5 Produktionsanlage oder -maschine ....   | 7           | 3.1.1.6 Schäumen .....                          | 55        |
| 1.5.1 Maschinenelemente und die             | 7           | 3.1.1.7 Tauchformen .....                       | 57        |
| Automatisierung .....                       | 7           | 3.1.1.8 Urformen von faserverstärkten           | 58        |
| 1.5.2 CNC-Technik und das Achsensystem .... | 9           | Kunststoffen .....                              | 58        |
| 1.5.3 Spannmittel .....                     | 10          | 3.1.1.9 Urformen – Züchten von Kristallen ..... | 59        |
| 1.5.4 Werkzeuge .....                       | 12          | 3.1.2 Urformen aus dem plastischen Zustand ...  | 60        |
| 1.5.5 Werkstoffbearbeitung – Nass,          | 15          |                                                 |           |
| Minimalmenge, Trocken .....                 | 15          |                                                 |           |
| 1.6 Kalkulationsbeispiele und               | 16          |                                                 |           |
| Kostenvergleich .....                       | 16          |                                                 |           |
| <b>2 Materialien</b> .....                  | <b>19</b>   |                                                 |           |
| 2.1 Rohstoffe .....                         | 19          |                                                 |           |
| 2.2 Übersicht der Materialien .....         | 20          |                                                 |           |

|            |                                                                       |           |            |                                                          |            |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------|------------|
| 3.1.2.1    | Pressformen                                                           | 60        | 3.3.2.2    | Bohren                                                   | 99         |
| 3.1.2.2    | Spritzgießen                                                          | 61        | 3.3.2.3    | Fräsen                                                   | 102        |
| 3.1.2.3    | Spritzpressen                                                         | 62        | 3.3.2.4    | Hobeln/Stoßen                                            | 106        |
| 3.1.2.4    | Strangpressen – Extrudieren                                           | 63        | 3.3.2.5    | Räumen                                                   | 107        |
| 3.1.2.5    | Ziehformen                                                            | 63        | 3.3.2.6    | Sägen                                                    | 108        |
| 3.1.2.6    | Kalandrieren                                                          | 65        | 3.3.2.7    | Feilen/Raspeln                                           | 109        |
| 3.1.2.7    | Blasformen – Rotationsformen                                          | 65        | 3.3.2.8    | Bürstspanen                                              | 109        |
| 3.1.2.8    | Modellieren                                                           | 66        | 3.3.2.9    | Schaben/Meißeln                                          | 110        |
| 3.1.3      | Urformen aus dem körnigen oder pulverisierten Zustand                 | 66        | 3.3.3      | Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide             | 110        |
| 3.1.3.1    | Pressen – Pulverpressen als Operationsschritt des Sinterns            | 67        | 3.3.3.1    | Schleifen mit rotierenden Werkzeugen                     | 111        |
| 3.1.3.2    | Sandformen                                                            | 68        | 3.3.3.2    | Bandschleifen                                            | 112        |
| 3.1.3.3    | Rapid Prototyping, 3D-Druck – additive/generative Fertigungsverfahren | 68        | 3.3.3.3    | Hubschleifen                                             | 113        |
| 3.1.4      | Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand                      | 71        | 3.3.3.4    | Honen                                                    | 113        |
| 3.1.5      | Urformen aus ionisiertem Zustand                                      | 72        | 3.3.3.5    | Läppen                                                   | 114        |
| <b>3.2</b> | <b>Umformen</b>                                                       | <b>72</b> | 3.3.3.6    | Strahlspanen                                             | 114        |
| 3.2.1      | Druckformen                                                           | 74        | 3.3.3.7    | Gleitspanen                                              | 115        |
| 3.2.1.1    | Walzen                                                                | 74        | 3.3.4      | Abtragen                                                 | 115        |
| 3.2.1.2    | Freiformen                                                            | 77        | 3.3.4.1    | Thermisches Abtragen                                     | 116        |
| 3.2.1.3    | Gesenkformen                                                          | 79        | 3.3.4.2    | Chemisches Abtragen                                      | 119        |
| 3.2.1.4    | Eindrücken                                                            | 81        | 3.3.4.3    | Elektrochemisches Abtragen                               | 119        |
| 3.2.1.5    | Durchdrücken                                                          | 81        | 3.3.5      | Zerlegen                                                 | 120        |
| 3.2.1.6    | Umformstrahlen                                                        | 83        | 3.3.6      | Reinigen                                                 | 122        |
| 3.2.1.7    | Oberflächenveredlungsstrahlen                                         | 83        | 3.3.6.1    | Reinigungsstrahlen                                       | 123        |
| 3.2.2      | Zugdruckumformen                                                      | 84        | 3.3.6.2    | Mechanisches Reinigen                                    | 124        |
| 3.2.2.1    | Durchziehen                                                           | 84        | 3.3.6.3    | Strömungstechnisches Reinigen                            | 124        |
| 3.2.2.2    | Tiefziehen                                                            | 84        | 3.3.6.4    | Lösungsmittelreinigen                                    | 124        |
| 3.2.2.3    | Drücken                                                               | 85        | 3.3.6.5    | Chemisches Reinigen                                      | 125        |
| 3.2.2.4    | Kragenziehen                                                          | 86        | 3.3.6.6    | Thermisches Reinigen                                     | 126        |
| 3.2.2.5    | Knickbauchen                                                          | 86        | <b>3.4</b> | <b>Fügen</b>                                             | <b>126</b> |
| 3.2.2.6    | Innenhochdruck-Weitstauchen                                           | 86        | 3.4.1      | Zusammensetzen                                           | 128        |
| 3.2.3      | Zugumformen                                                           | 87        | 3.4.2      | Füllen                                                   | 130        |
| 3.2.3.1    | Längen                                                                | 87        | 3.4.3      | An- und Einpressen                                       | 130        |
| 3.2.3.2    | Weiten                                                                | 87        | 3.4.4      | Fügen durch Urformen                                     | 131        |
| 3.2.3.3    | Tiefen                                                                | 88        | 3.4.5      | Fügen durch Umformen                                     | 131        |
| 3.2.4      | Biegeumformen                                                         | 88        | 3.4.6      | Fügen durch Schweißen                                    | 133        |
| 3.2.4.1    | Biegeumformen mit geradliniger Werkzeugbewegung                       | 88        | 3.4.6.1    | Pressverbindungsschweißen                                | 133        |
| 3.2.4.2    | Biegeumformen mit drehender Werkzeugbewegung                          | 90        | 3.4.6.2    | Schmelzverbindungsschweißen                              | 137        |
| 3.2.5      | Schubumformen                                                         | 91        | 3.4.7      | Fügen durch Löten                                        | 141        |
| <b>3.3</b> | <b>Trennen</b>                                                        | <b>92</b> | 3.4.8      | Kleben                                                   | 142        |
| 3.3.1      | Zerteilen                                                             | 92        | <b>3.5</b> | <b>Beschichten</b>                                       | <b>143</b> |
| 3.3.1.1    | Scherschneiden (Stanzen)                                              | 92        | 3.5.1      | Beschichten aus dem flüssigen Zustand                    | 147        |
| 3.3.1.2    | Messerschneiden                                                       | 94        | 3.5.1.1    | Schmelztauchen                                           | 148        |
| 3.3.1.3    | Beißschneiden                                                         | 95        | 3.5.1.2    | Anstreichen, Lackieren                                   | 148        |
| 3.3.2      | Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide                            | 95        | 3.5.1.3    | Emaillieren                                              | 149        |
| 3.3.2.1    | Drehen                                                                | 95        | 3.5.2      | Beschichten aus dem plastischen Zustand                  | 149        |
|            |                                                                       |           | 3.5.3      | Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand | 150        |
|            |                                                                       |           | 3.5.3.1    | Wirbelsintern                                            | 150        |
|            |                                                                       |           | 3.5.3.2    | Elektrostatisches Beschichten                            | 151        |
|            |                                                                       |           | 3.5.3.3    | Beschichten durch thermisches Spritzen                   | 152        |
|            |                                                                       |           | 3.5.4      | Beschichten durch Schweißen                              | 156        |

|         |                                                                               |            |                                |                                                                 |            |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.5   | Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Vakuumbeschichten) ..... | 157        | 4.5.1.2                        | Zeichnungen .....                                               | 189        |
| 3.5.5.1 | Vakuumbedampfen – PVD/CVD .....                                               | 157        | 4.5.2                          | Bauteilgestalt .....                                            | 189        |
| 3.5.5.2 | Vakuumbestäuben .....                                                         | 159        | 4.5.2.1                        | Bemaßung .....                                                  | 190        |
| 3.5.6   | Beschichten aus dem ionisierten Zustand .....                                 | 159        | 4.5.2.2                        | Toleranzen .....                                                | 191        |
| 3.5.6.1 | Galvanisches Beschichten .....                                                | 159        | 4.5.2.3                        | Form- und Lagetoleranzen .....                                  | 191        |
| 3.5.6.2 | Chemisches Beschichten .....                                                  | 160        | 4.5.2.4                        | Passungen .....                                                 | 192        |
| 3.6     | <b>Stoffeigenschaften ändern</b> .....                                        | <b>163</b> | 4.5.2.5                        | Symbole, Zeichen und Texte .....                                | 193        |
| 3.6.1   | Verfestigen durch Umformen .....                                              | 164        | 4.5.3                          | Oberflächen .....                                               | 194        |
| 3.6.2   | Wärmebehandeln (DIN EN 10052) .....                                           | 166        | 4.5.3.1                        | Oberflächensymbole .....                                        | 194        |
| 3.6.2.1 | Glühen .....                                                                  | 166        | 4.5.3.2                        | Oberflächengüte .....                                           | 194        |
| 3.6.2.2 | Härten .....                                                                  | 166        | 4.6                            | <b>Machbarkeit</b> .....                                        | <b>196</b> |
| 3.6.2.3 | Isothermisches Umwandeln .....                                                | 170        | 4.6.1                          | Größenordnungen .....                                           | 197        |
| 3.6.2.4 | Anlassen, Auslagern .....                                                     | 171        | 4.6.2                          | Erreichbare Qualitäten .....                                    | 197        |
| 3.6.2.5 | Vergüten .....                                                                | 171        | 4.7                            | <b>Vorgehensweise und Glossar für das Zeichnungslesen</b> ..... | <b>199</b> |
| 3.6.2.6 | Tiefkühlen .....                                                              | 171        | 5                              | <b>Prozessabläufe</b> .....                                     | <b>203</b> |
| 3.6.2.7 | Thermochemisches Behandeln .....                                              | 171        | 5.1                            | Übersicht Prozessabläufe .....                                  | 203        |
| 3.6.2.8 | Aushärten .....                                                               | 172        | 5.2                            | Produktionsvarianten von Wellen .....                           | 203        |
| 3.6.3   | Thermomechanisches Behandeln .....                                            | 173        | 5.3                            | Gelenkbauteile .....                                            | 207        |
| 3.6.4   | Sintern, Brennen .....                                                        | 173        | 5.4                            | Montage .....                                                   | 209        |
| 3.6.5   | Magnetisieren .....                                                           | 173        | 5.5                            | Fertigungssystem .....                                          | 209        |
| 3.6.6   | Bestrahlen .....                                                              | 173        | 5.6                            | Rohrfertigung .....                                             | 209        |
| 3.6.7   | Photochemische Verfahren .....                                                | 174        | 5.7                            | Blechbearbeitung .....                                          | 210        |
| 4       | <b>Qualitätssicherung</b> .....                                               | <b>175</b> | 5.8                            | Herstellung eines Bohrers .....                                 | 210        |
| 4.1     | Qualitätsmanagement .....                                                     | 175        | 5.9                            | Prozesskosten .....                                             | 210        |
| 4.2     | Qualitätsmethoden .....                                                       | 176        | 5.10                           | Entscheidungskriterien .....                                    | 213        |
| 4.3     | Messtechnologie .....                                                         | 178        | Weiterführende Literatur ..... | 215                                                             |            |
| 4.3.1   | Prüf- und Messmittel .....                                                    | 179        | Stichwortverzeichnis .....     | 217                                                             |            |
| 4.3.1.1 | Prüfmittel .....                                                              | 179        |                                |                                                                 |            |
| 4.3.1.2 | Messmittel .....                                                              | 181        |                                |                                                                 |            |
| 4.4     | <b>Prozessqualifizierung</b> .....                                            | <b>183</b> |                                |                                                                 |            |
| 4.4.1   | Prozessfähigkeiten – PFU, MFU .....                                           | 184        |                                |                                                                 |            |
| 4.4.2   | Prozessfähigkeiten – SPC .....                                                | 184        |                                |                                                                 |            |
| 4.5     | <b>Konstruktion</b> .....                                                     | <b>186</b> |                                |                                                                 |            |
| 4.5.1   | 3D-Modell und Zeichnungen .....                                               | 186        |                                |                                                                 |            |
| 4.5.1.1 | 3D-Modell .....                                                               | 188        |                                |                                                                 |            |