

# Inhalt

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Vorwort .....</b>                                   | <b>v</b>  |
| <b>1 Der Spritzgießprozess .....</b>                   | <b>1</b>  |
| 1.1 Verfahrensablauf .....                             | 1         |
| 1.2 Die Maschinen- und Anlagentechnik .....            | 3         |
| 1.2.1 Schließeinheit .....                             | 3         |
| 1.2.2 Einspritzeinheit .....                           | 6         |
| 1.2.3 Antrieb .....                                    | 6         |
| 1.2.4 Steuerung .....                                  | 6         |
| <b>2 Fachsprache .....</b>                             | <b>7</b>  |
| 2.1 Spritzgießmaschine .....                           | 7         |
| 2.2 Werkzeug .....                                     | 12        |
| 2.3 Spritzgießprozess .....                            | 22        |
| 2.4 Werkstoff Kunststoff .....                         | 29        |
| <b>3 Die Einstellung der Verarbeitungsgrößen .....</b> | <b>31</b> |
| 3.1 Basisdaten für die Grundeinstellung .....          | 33        |
| 3.1.1 Schussgewicht .....                              | 34        |
| 3.1.2 Fließweglänge .....                              | 34        |
| 3.1.3 Mittlere Wanddicke .....                         | 35        |
| 3.1.4 Zu verarbeitender Kunststoff .....               | 35        |
| 3.1.5 Formteilklaasse .....                            | 35        |
| 3.1.6 Projizierte Formteilfläche .....                 | 36        |
| 3.2 Grundeinstellung .....                             | 36        |
| 3.2.1 Temperaturen .....                               | 37        |
| 3.2.2 Dosieren .....                                   | 39        |
| 3.2.3 Einspritzen und Nachdrücken .....                | 44        |
| 3.2.4 Kühlzeit .....                                   | 49        |
| 3.3 Korrektur der Grundeinstellung .....               | 49        |
| 3.3.1 Erster Korrekturschritt (ohne Nachdruck) .....   | 50        |
| 3.3.2 Zweiter Korrekturschritt (mit Nachdruck) .....   | 51        |
| 3.4 Optimierung der Grundeinstellung .....             | 51        |
| 3.4.1 Unvollständige Werkzeugfüllung .....             | 52        |
| 3.4.2 Einfallstellen .....                             | 52        |
| 3.4.3 Gratbildung .....                                | 53        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4.4    | Sichtbare, schlechte Bindenähte .....   | 54        |
| 3.4.5    | Freistrahlbildung .....   | 54        |
| 3.4.6    | Rillenbildung (Schallplatteneffekt) .....   | 56        |
| 3.4.7    | Schlieren auf der Oberfläche .....  | 56        |
| 3.4.8    | Brandstellen (Dieseleffekt) .....   | 57        |
| 3.4.9    | Matte Stellen in Anschnittnähe .....  | 58        |
| 3.4.10   | Glanzunterschiede auf der Oberfläche .....  | 58        |
| <b>4</b> | <b>Spritzgießrelevante Kunststoff-Eigenschaften .....</b>   | <b>59</b> |
| 4.1      | Fließeigenschaften von Kunststoffen .....   | 59        |
| 4.1.1    | Zusammenhang von Druck und Geschwindigkeit<br>(Hagen-Poiseuille) .....                            | 59        |
| 4.1.2    | Viskosität .....  | 60        |
| 4.1.3    | Kombinierter Einfluss von Geschwindigkeit und Temperatur<br>(Badewannenkurve) .....               | 63        |
| 4.1.4    | Quellfluss .....  | 63        |
| 4.1.5    | Fehlersuche mit Quellflussanalyse .....   | 65        |
| 4.2      | Prozessablauf beim Einspritzen und Nachdrücken .....  | 66        |
| 4.2.1    | Zusammenhang zwischen spezifischem Druck, Volumen<br>und Temperatur ( <i>pVT</i> -Diagramm) ..... | 66        |
| 4.2.2    | Druck-Zeit-Verlauf, Druckkurven .....   | 68        |
| 4.2.3    | Einspritzgeschwindigkeit .....  | 72        |
| 4.2.4    | Nachdruckphase .....  | 74        |
| 4.3      | Formteilgestaltung .....  | 77        |
| 4.3.1    | Fließweg-Wanddicken-Verhältnis .....  | 77        |
| 4.3.2    | Füllbild .....  | 78        |
| 4.4      | Innere Eigenschaften von Kunststoffen .....   | 82        |
| 4.4.1    | Orientierungen .....  | 83        |
| 4.4.2    | Spannungen .....  | 84        |
| 4.4.3    | Kristallisation .....   | 85        |
| 4.5      | Temperaturen und Wärmevorgänge in Kunststoffen .....  | 88        |
| 4.5.1    | Abkühlung (Berechnung) .....  | 88        |
| 4.5.2    | Abkühleigenschaften, Bindenahfestigkeit .....   | 90        |
| 4.5.3    | Einfluss der Werkzeugtemperatur auf die Formteildimension .....                                   | 92        |
| 4.5.4    | Temperaturlgleichgewicht .....  | 93        |
| 4.5.5    | Schmelzetemperatur .....  | 94        |
| 4.5.6    | Einfluss der Temperatur auf die Entformung und allgemeine<br>Entformungsprobleme .....            | 96        |
| 4.5.7    | Verweilzeit und Materialabbau .....   | 97        |
| <b>5</b> | <b>Spritzgieß-Sonderverfahren .....</b>   | <b>99</b> |
| 5.1      | Spritzgießen mit Treibmitteln .....   | 99        |
| 5.1.1    | TSG-Verfahrenstechnik (Thermoplast-Schaum-Spritzgießen) .....                                     | 101       |
| 5.1.2    | Gasgegendruck-Verfahren .....   | 103       |

|                    |  |            |
|--------------------|--|------------|
| <b>5.2</b>         | <b>Gasinnendrucktechnik (GIT) .....</b>  | <b>104</b> |
| 5.2.1              | Druckverlauf bei der Gasinnendrucktechnik .....  | 105        |
| 5.2.2              | Standard-GIT-Verfahren .....   | 107        |
| 5.2.3              | Ausblasverfahren .....   | 112        |
| 5.2.4              | Fehlerbeseitigung beim GIT-Prozess .....   | 116        |
| <b>5.3</b>         | <b>Gas-Außendrucktechnik .....</b>   | <b>118</b> |
| <b>5.4</b>         | <b>Spritzprägen .....</b>  | <b>120</b> |
| 5.4.1              | Allgemeines zum Verfahren .....  | 120        |
| 5.4.2              | Großflächiges Spritzprägen .....   | 121        |
| 5.4.3              | Partielles Prägen .....  | 122        |
| 5.4.4              | Passives Prägen .....  | 123        |
| 5.4.5              | Prozessführung beim großflächigen Spritzprägen .....   | 123        |
| 5.4.6              | Prozessführung beim Prägen mit Verdrängerkernen .....  | 125        |
| 5.4.7              | Prozessführung beim passiven Prägen .....  | 125        |
| <b>5.5</b>         | <b>Mehrkomponentenspritzgießen .....</b>   | <b>126</b> |
| 5.5.1              | Overmolding-Verfahren .....  | 126        |
| 5.5.2              | Sandwichmolding-Verfahren .....  | 131        |
| <b>5.6</b>         | <b>Plastifizieren mit Entgasung .....</b>  | <b>142</b> |
| <b>6</b>           | <b>Die letzten Schritte zur Qualität .....</b>   | <b>143</b> |
| <b>6.1</b>         | <b>Dokumentation und Überwachung .....</b>   | <b>143</b> |
| 6.1.1              | Kontinuierliche, chronologische Überwachung .....  | 144        |
| 6.1.2              | Statistical Process Control (SPC) .....  | 152        |
| 6.1.3              | Überwachung mit Prozessmodellen .....  | 157        |
| <b>6.2</b>         | <b>Optimierung mit externer Intelligenz .....</b>  | <b>158</b> |
| 6.2.1              | Statistische Versuchsplanung (SVP) .....   | 158        |
| 6.2.2              | Evolutionsoptimierung (EVOP) .....   | 163        |
| 6.2.3              | Vergleich zwischen EVOP und SVP .....  | 166        |
| <b>6.3</b>         | <b>Spezielle Prozessstrategien .....</b>   | <b>166</b> |
| 6.3.1              | <i>pvt</i> -Strategie .....  | 167        |
| 6.3.2              | Adaptive Prozessregelung .....   | 168        |
| <b>7</b>           | <b>Vorgehensweise für eine standardisierte Voreinstellung<br/>einer Spritzgießmaschine .....</b> | <b>173</b> |
| <b>7.1</b>         | <b>Basis-Formteildaten .....</b>   | <b>173</b> |
| <b>7.2</b>         | <b>Einstellwerte .....</b>   | <b>173</b> |
| <b>7.3</b>         | <b>Tabellen und Diagramme .....</b>  | <b>175</b> |
| <b>Index .....</b> | <b>187</b>   |            |