

# Handbuch Urformen

Bearbeitet von  
Günter Spur, Andreas Bührig-Polaczek, Walter Michaeli

2. Auflage 2013. Buch. 968 S. Hardcover

ISBN 978 3 446 42035 9

Format (B x L): 20,9 x 27,7 cm

Gewicht: 2745 g

Weitere Fachgebiete > Technik > Verfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen,  
Lebensmitteltechnik > Mechanische und Thermische Verfahrenstechnik

Zu [Leseprobe](#) und [Sachverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text 'beck-shop.de' in a bold, red, sans-serif font. Above the 'i' in 'shop' are three red dots of increasing size. Below the main text, the words 'DIE FACHBUCHHANDLUNG' are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



Inhaltsverzeichnis

Handbuch Urformen

Herausgegeben von Günter Spur  
Mitherausgeber Walter Michaeli, Andreas Bührig-Polaczek

ISBN (Buch): 978-3-446-42035-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43406-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter  
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42035-9>  
sowie im Buchhandel.

# Inhaltsverzeichnis

|                                          |              |
|------------------------------------------|--------------|
| <b>Vorwort der Bandherausgeber .....</b> | <b>V</b>     |
| <b>Die Herausgeber .....</b>             | <b>XXV</b>   |
| <b>Autorenverzeichnis .....</b>          | <b>XXVII</b> |

|           |                                                                                                                                    |          |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>I</b>  | <b>Urformen von Metallen .....</b>                                                                                                 | <b>1</b> |
| <b>1</b>  | <b>Gießen .....</b>                                                                                                                | <b>3</b> |
| 1.1       | Technologische und wirtschaftliche Aspekte .....                                                                                   | 7        |
| 1.1.1     | Einführung in die Technologie des Gießens .....                                                                                    | 7        |
| 1.1.1.1   | Die Bedeutung der Gießereitechnik .....                                                                                            | 7        |
| 1.1.1.2   | Übersicht der Form- und Gießverfahren .....                                                                                        | 10       |
| 1.1.1.3   | Der Gießereibetrieb im wirtschaftlichen Umfeld .....                                                                               | 12       |
| 1.1.2     | Wirtschaftliche Bedeutung der Gießereiindustrie .....                                                                              | 13       |
| 1.2       | Grundlagen des Gießens .....                                                                                                       | 17       |
| 1.2.1     | Erstarrung .....                                                                                                                   | 17       |
| 1.2.1.1   | Entstehung des Gussgefüges .....                                                                                                   | 17       |
| 1.2.1.2   | Erstarrungsmorphologie .....                                                                                                       | 18       |
| 1.2.2     | Schmelzebehandlung .....                                                                                                           | 21       |
| 1.2.2.1   | Kornfeinung, Impfen .....                                                                                                          | 21       |
| 1.2.2.2   | Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung .....                                                                                      | 23       |
| 1.2.2.2.1 | Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung von Aluminium-Legierungen .....                                                            | 23       |
| 1.2.2.2.2 | Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung von Gusseisen-Legierungen .....                                                            | 24       |
| 1.2.2.3   | Schmelzereinigung .....                                                                                                            | 25       |
| 1.2.3     | Gießeigenschaften .....                                                                                                            | 28       |
| 1.2.3.1   | Formfüllungsvermögen .....                                                                                                         | 28       |
| 1.2.3.2   | Fließvermögen .....                                                                                                                | 30       |
| 1.2.3.3   | Speisungsvermögen .....                                                                                                            | 31       |
| 1.2.3.4   | Warmrissneigung .....                                                                                                              | 34       |
| 1.2.3.5   | Gasaufnahme, Oxidationsneigung .....                                                                                               | 36       |
| 1.2.4     | Gieß-, Anschnitt- und Speisungstechnik .....                                                                                       | 37       |
| 1.2.4.1   | Gieß- und Anschnitttechnik .....                                                                                                   | 37       |
| 1.2.4.2   | Speisungstechnik .....                                                                                                             | 39       |
| 1.3       | Gusswerkstoffe .....                                                                                                               | 42       |
| 1.3.1     | Eisenbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                                    | 43       |
| 1.3.1.1   | Eisen-Kohlenstoff-Diagramm .....                                                                                                   | 44       |
| 1.3.1.1.1 | Einflüsse von Kohlenstoff, Silicium und Phosphor auf die grundlegenden<br>Erstarrungsvorgänge von Eisenbasis-Gusswerkstoffen ..... | 45       |
| 1.3.1.1.2 | Einflüsse von Legierungs- und Spurenelementen auf die eutektische Erstarrung .....                                                 | 48       |
| 1.3.1.1.3 | Einflüsse von Legierungs- und Spurenelementen auf die eutektoide Umwandlung .....                                                  | 49       |
| 1.3.1.1.4 | Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit .....                                                                                           | 49       |
| 1.3.1.2   | Stahlguss .....                                                                                                                    | 51       |

|             |                                                                                                                              |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.3.1.3     | Gusseisen mit Lamellengraphit .....                                                                                          | 54  |
| 1.3.1.4     | Gusseisen mit Kugelgraphit .....                                                                                             | 56  |
| 1.3.1.5     | Sonderwerkstoffe auf der Basis von Gusseisen mit Kugelgraphit .....                                                          | 57  |
| 1.3.1.6     | Gusseisen mit Vermiculargraphit .....                                                                                        | 58  |
| 1.3.1.7     | Temperguss .....                                                                                                             | 58  |
| 1.3.1.8     | Verschleißbeständige weiße Gusseisenwerkstoffe .....                                                                         | 59  |
| 1.3.2       | Nichteisen-Gusswerkstoffe.....                                                                                               | 61  |
| 1.3.2.1     | Aluminiumbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                          | 61  |
| 1.3.2.1.1   | Legierungssysteme .....                                                                                                      | 62  |
| 1.3.2.1.1.1 | Das System AlSi .....                                                                                                        | 62  |
| 1.3.2.1.1.2 | Das System AlMg .....                                                                                                        | 67  |
| 1.3.2.1.1.3 | Das System AlCu .....                                                                                                        | 68  |
| 1.3.2.1.1.4 | Das System AlZn .....                                                                                                        | 68  |
| 1.3.2.1.1.5 | Das System AlLi.....                                                                                                         | 69  |
| 1.3.2.1.1.6 | Einfluss der bedeutsamsten Begleitelemente auf die Eigenschaften von<br>Aluminiumgusslegierungen.....                        | 69  |
| 1.3.2.1.2   | Einfluss des Gießverfahrens auf die Gefügebildung.....                                                                       | 71  |
| 1.3.2.1.3   | Bezeichnungssystematik der Aluminiumgusswerkstoffe .....                                                                     | 72  |
| 1.3.2.1.4   | Korrosionsverhalten von Aluminiumgusslegierungen .....                                                                       | 72  |
| 1.3.2.2     | Magnesiumbasis-Gusswerkstoffe.....                                                                                           | 75  |
| 1.3.2.3     | Kupferbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                             | 80  |
| 1.3.2.3.1   | Gießverfahren .....                                                                                                          | 83  |
| 1.3.2.3.2   | Besonderheiten.....                                                                                                          | 83  |
| 1.3.2.3.3   | Produktbeispiele .....                                                                                                       | 85  |
| 1.3.2.4     | Zinkbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                               | 86  |
| 1.3.2.5     | Zinnbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                               | 88  |
| 1.3.2.6     | Titanbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                              | 89  |
| 1.3.2.6.1   | Einsatz von Titanwerkstoffen.....                                                                                            | 89  |
| 1.3.2.6.2   | Historie von Titan und Titanlegierungen .....                                                                                | 89  |
| 1.3.2.6.3   | Metallurgie des Titans.....                                                                                                  | 89  |
| 1.3.2.6.4   | Titanschmelzen .....                                                                                                         | 91  |
| 1.3.2.6.5   | Titanfeinguss .....                                                                                                          | 91  |
| 1.3.2.6.6   | Alpha-case .....                                                                                                             | 92  |
| 1.3.2.6.7   | Gussteilnachbehandlung .....                                                                                                 | 92  |
| 1.3.2.6.8   | Thermische Nachbehandlung von Titanwerkstoffen.....                                                                          | 92  |
| 1.3.2.7     | Nickelbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                             | 93  |
| 1.3.2.8     | Kobaltbasis-Gusswerkstoffe .....                                                                                             | 95  |
| 1.3.2.9     | Gusswerkstoffe für Sonderanwendungen .....                                                                                   | 96  |
| 1.3.2.9.1   | Implantate .....                                                                                                             | 96  |
| 1.3.2.9.2   | Normenübersicht für Implantatwerkstoffe .....                                                                                | 96  |
| 1.3.2.9.3   | Kunstguss.....                                                                                                               | 96  |
| 1.3.2.9.4   | Schmuckguss .....                                                                                                            | 97  |
| 1.3.3       | Verbundguss und gegossene Verbundwerkstoffe .....                                                                            | 98  |
| 1.3.3.1     | Verbundguss .....                                                                                                            | 98  |
| 1.3.3.2     | Gegossene Verbundwerkstoffe.....                                                                                             | 99  |
| 1.3.4       | Konstruieren mit Gusswerkstoffen .....                                                                                       | 102 |
| 1.3.4.1     | Werkstoffbedingte Einflussgrößen Wanddickenabhängigkeit und<br>Warmrissempfindlichkeit .....                                 | 103 |
| 1.3.4.2     | Verfahrensbedingte Einflussgrößen, Hinterschneidung, Formschrägen,<br>Bearbeitungszugaben, Toleranzen, Eigenspannungen ..... | 106 |
| 1.3.4.3     | Werkstoffkennndaten .....                                                                                                    | 107 |

|           |                                                            |     |
|-----------|------------------------------------------------------------|-----|
| 1.4       | Technologie des Schmelzens und Gießens.....                | 112 |
| 1.4.1     | Kupolofen .....                                            | 112 |
| 1.4.1.1   | Stoff- und Energiebilanz.....                              | 113 |
| 1.4.1.1.1 | Stoffbilanz .....                                          | 113 |
| 1.4.1.1.2 | Energiebilanz .....                                        | 114 |
| 1.4.1.2   | Auslegung und Betrieb eines Kupolofens .....               | 115 |
| 1.4.1.2.1 | Ofendaten .....                                            | 115 |
| 1.4.1.2.2 | Schmelzleistung .....                                      | 115 |
| 1.4.1.2.3 | Windmenge .....                                            | 116 |
| 1.4.1.2.4 | Durchgasung.....                                           | 117 |
| 1.4.1.2.5 | Vorwärmung .....                                           | 117 |
| 1.4.1.2.6 | Kohlenstoffaufnahme („Aufkohlung“) .....                   | 118 |
| 1.4.1.2.7 | Windgeschwindigkeit in den Düsen .....                     | 118 |
| 1.4.1.3   | Ofensysteme und Gesamtanlagen .....                        | 119 |
| 1.4.1.3.1 | Kaltwindofen mit Langzeitfutter.....                       | 119 |
| 1.4.1.3.2 | Warmwindofen mit Langzeitfutter .....                      | 120 |
| 1.4.1.3.3 | Heißwindkupolofen mit Langzeitfutter .....                 | 120 |
| 1.4.1.3.4 | Heißwindkupolofen ohne Futter.....                         | 121 |
| 1.4.1.3.5 | Heißwindkupolofen im Hüttenwerk.....                       | 121 |
| 1.4.1.3.6 | Erdgasofen mit Langzeitfutter.....                         | 122 |
| 1.4.1.3.7 | Shuttle-Kupolofen .....                                    | 123 |
| 1.4.1.3.8 | Vergleich der Betriebsdaten .....                          | 123 |
| 1.4.1.4   | Prozessleittechnik.....                                    | 124 |
| 1.4.1.5   | Umweltschutz .....                                         | 126 |
| 1.4.1.5.1 | Staubemissionen .....                                      | 126 |
| 1.4.1.5.2 | Schwefel- und Stickoxidemissionen.....                     | 126 |
| 1.4.1.5.3 | Dioxine und Furane .....                                   | 126 |
| 1.4.1.5.4 | CO <sub>2</sub> -Emissionen.....                           | 127 |
| 1.4.1.5.5 | Beste verfügbare Techniken .....                           | 128 |
| 1.4.2     | Lichtbogenofen .....                                       | 128 |
| 1.4.2.1   | Einleitung .....                                           | 128 |
| 1.4.2.2   | Aufbau.....                                                | 129 |
| 1.4.3     | Induktionsofen.....                                        | 135 |
| 1.4.3.1   | Arbeitsweise und Aufbau von Induktionsofenanlagen .....    | 135 |
| 1.4.3.1.1 | Arbeitsweise und Ofentypen .....                           | 135 |
| 1.4.3.1.2 | Gesamtaufbau.....                                          | 137 |
| 1.4.3.2   | Energieversorgung.....                                     | 137 |
| 1.4.3.3   | Auslegung und Gestaltung der Schaltanlage.....             | 140 |
| 1.4.3.4   | Wirkungsgrad und Energieeffizienz .....                    | 142 |
| 1.4.3.5   | Prozessleittechnik.....                                    | 146 |
| 1.4.3.6   | Feuerfeste Zustellung .....                                | 148 |
| 1.4.3.7   | Sicherheitseinrichtungen .....                             | 149 |
| 1.4.3.8   | Einsatzkriterien.....                                      | 151 |
| 1.4.3.8.1 | Auswahl des Ofentyps .....                                 | 151 |
| 1.4.3.8.2 | Baugrößen und Leistungsdaten .....                         | 152 |
| 1.4.4     | Widerstandsöfen zum Schmelzen, Warmhalten und Gießen ..... | 160 |
| 1.4.4.1   | Physikalisches Wirkprinzip .....                           | 160 |
| 1.4.4.2   | Aufbau von Widerstandsöfen .....                           | 160 |
| 1.4.4.3   | Betrieb.....                                               | 163 |
| 1.4.5     | Herdsmelzofen und Schachtsmelzofen .....                   | 164 |
| 1.4.5.1   | Verfahrensprinzip .....                                    | 164 |
| 1.4.5.2   | Metallurgie.....                                           | 167 |

|           |                                                                                        |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.4.5.3   | Ofenbetrieb.....                                                                       | 168 |
| 1.4.6     | Schmelzetransport.....                                                                 | 171 |
| 1.4.7     | Gießeinrichtungen und Dosiertechnik .....                                              | 175 |
| 1.4.7.1   | Manuelles Gießen mit Gießpfannen.....                                                  | 175 |
| 1.4.7.2   | Automatisiertes Gießen mit Gießlöffeln .....                                           | 176 |
| 1.4.7.3   | Automatisiertes Gießen mit beheizten Gießeinrichtungen (Gießöfen und Dosieröfen) ..... | 177 |
| 1.5       | Gussteilfertigung mit verlorenen Formen.....                                           | 181 |
| 1.5.1     | Modellbau.....                                                                         | 183 |
| 1.5.1.1   | Aufbau und Konstruktion von Modellen für das Gießen .....                              | 183 |
| 1.5.1.2   | Modellbauwerkstoffe .....                                                              | 186 |
| 1.5.1.3   | Modellherstellung.....                                                                 | 189 |
| 1.5.2     | Formstoffe .....                                                                       | 193 |
| 1.5.2.1   | Formgrundstoffe.....                                                                   | 193 |
| 1.5.2.2   | Formstoffbinder und -härter.....                                                       | 195 |
| 1.5.2.3   | Formzusatz- und Hilfsstoffe.....                                                       | 196 |
| 1.5.3     | Herstellung verllorener Formen und Kerne unter Verwendung von Dauermodellen.....       | 197 |
| 1.5.3.1   | Formverfahren mit mechanischer Verdichtung – Verdichtungsformverfahren.....            | 199 |
| 1.5.3.2   | Formverfahren mit chemischer Härtung.....                                              | 210 |
| 1.5.3.3   | Formverfahren mit physikalischer Verfestigung .....                                    | 221 |
| 1.5.4     | Herstellung verllorener Formen mit verlorenen Modellen .....                           | 224 |
| 1.5.4.1   | Vollformgießen .....                                                                   | 224 |
| 1.5.4.1.1 | Varianten des Vollformgießens .....                                                    | 225 |
| 1.5.4.1.2 | Das Lost Foam Verfahren .....                                                          | 225 |
| 1.5.4.1.3 | Wirtschaftliche Bedeutung des Lost Foam Verfahrens.....                                | 228 |
| 1.5.4.2   | Feingussverfahren .....                                                                | 229 |
| 1.5.5     | Rapid Prototyping mit Formstoffen .....                                                | 237 |
| 1.5.6     | Niederdruck-Sandgießen .....                                                           | 245 |
| 1.5.7     | Formstoffregenerierung.....                                                            | 248 |
| 1.6       | Gussteilfertigung mit Dauerformen .....                                                | 252 |
| 1.6.1     | Formenbau .....                                                                        | 253 |
| 1.6.1.1   | Aufbau und Konstruktion von Dauerformen .....                                          | 253 |
| 1.6.1.2   | Werkstoffe für Dauerformen und deren Wärmebehandlung.....                              | 268 |
| 1.6.1.3   | Fertigung und Oberflächen-behandlung von Dauerformen .....                             | 272 |
| 1.6.1.4   | Wartung von Dauerformen .....                                                          | 272 |
| 1.6.2     | Kokillengießverfahren.....                                                             | 274 |
| 1.6.3     | Niederdruck-Gießverfahren .....                                                        | 288 |
| 1.6.3.1   | Grundlagen und Prozessablauf.....                                                      | 288 |
| 1.6.3.2   | Niederdruck-Kokillenguss für Nichteisenmetalle .....                                   | 290 |
| 1.6.4     | Druckgießen.....                                                                       | 297 |
| 1.6.4.1   | Verfahrensprinzip .....                                                                | 298 |
| 1.6.4.1.1 | Kalt- und Warmkammerv Verfahren.....                                                   | 298 |
| 1.6.4.1.2 | Formfüllvorgang.....                                                                   | 305 |
| 1.6.4.1.3 | Gießsysteme für das Druckgießen.....                                                   | 312 |
| 1.6.4.1.4 | Entlüftung der Druckgießform und Gießen mit Vakuum (Zwangsentlüftung) .....            | 314 |
| 1.6.4.2   | Aufbau der Druckgießmaschinen .....                                                    | 315 |
| 1.6.4.3   | Anwendungsgebiete .....                                                                | 322 |
| 1.6.4.4   | Vacuralgießen .....                                                                    | 325 |
| 1.6.4.5   | Thixogießen.....                                                                       | 326 |
| 1.6.4.6   | Squeeze Casting .....                                                                  | 328 |
| 1.6.5     | Schleudergießen.....                                                                   | 329 |

|           |                                                                        |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.6.5.1   | Das Schleudergieß-Verfahren (echter Schleuderguss) .....               | 329 |
| 1.6.5.1.1 | Prinzip und Verfahren .....                                            | 329 |
| 1.6.5.1.2 | Gießprozess .....                                                      | 330 |
| 1.6.5.1.3 | Erstarrung .....                                                       | 331 |
| 1.6.5.1.4 | Schleudergieß-Formen .....                                             | 332 |
| 1.6.5.1.5 | Formbeschichtung .....                                                 | 332 |
| 1.6.5.1.6 | Eigenschaften des Schleudergieß-Verfahrens .....                       | 332 |
| 1.6.5.1.7 | Anwendungen und Produkte .....                                         | 333 |
| 1.6.5.2   | Das Schleuderformgieß-Verfahren (halber Schleuderguss) .....           | 333 |
| 1.6.5.2.1 | Prinzip und Verfahren .....                                            | 333 |
| 1.6.5.2.2 | Gießprozess .....                                                      | 333 |
| 1.6.5.2.3 | Formen .....                                                           | 333 |
| 1.6.5.2.4 | Eigenschaften des Schleuderformgießverfahrens .....                    | 333 |
| 1.6.5.2.5 | Anwendungen und Produkte .....                                         | 334 |
| 1.6.5.3   | Zentrifugieren (unechter Schleuderguss) .....                          | 334 |
| 1.6.5.3.1 | Prinzip und Verfahren .....                                            | 334 |
| 1.6.5.3.2 | Gießprozess .....                                                      | 334 |
| 1.6.5.3.3 | Formen .....                                                           | 334 |
| 1.6.5.3.4 | Eigenschaften, Anwendungen und Produkte .....                          | 334 |
| 1.6.6     | Stranggießen .....                                                     | 335 |
| 1.6.6.1   | Geschichte und Stand des Stranggießens .....                           | 336 |
| 1.6.6.2   | Stranggießen von Stahl .....                                           | 337 |
| 1.6.6.2.1 | Stranggießen von Stahl mit oszillierender Kokille .....                | 338 |
| 1.6.6.2.2 | Sonderformen von Stahlstranggießanlagen .....                          | 339 |
| 1.6.6.3   | Stranggießen von Gusseisen .....                                       | 340 |
| 1.6.6.4   | Stranggießen von Aluminium .....                                       | 341 |
| 1.6.6.4.1 | Horizontalguss .....                                                   | 341 |
| 1.6.6.4.2 | Vertikalguss von Walzbarren .....                                      | 342 |
| 1.6.6.4.3 | Vertikalguss von Rundbarren .....                                      | 345 |
| 1.6.6.4.4 | Dünnbandgießen .....                                                   | 346 |
| 1.6.6.5   | Strangguss von Kupfer .....                                            | 346 |
| 1.7       | Gussnachbearbeitung und Fertigstellung der Gussteile zum Versand ..... | 348 |
| 1.7.1     | Entformen, Entsanden, Entzundern .....                                 | 348 |
| 1.7.2     | Trennen von Anschnitt- und Speisersystem .....                         | 352 |
| 1.7.3     | Entgraten der Gussteile .....                                          | 355 |
| 1.7.4     | Gussfehlerausbesserung .....                                           | 356 |
| 1.7.5     | Wärmebehandeln und Beschichten .....                                   | 358 |
| 1.8       | Qualitätssicherung und Simulation .....                                | 362 |
| 1.8.1     | Simulation: Der Blick in die Zukunft .....                             | 363 |
| 1.8.2     | Physikalische Grundlagen des Gießens .....                             | 363 |
| 1.8.2.1   | Modelle und Physik: vereinfachte Abbilder der Realität .....           | 363 |
| 1.8.2.2   | Die Methoden .....                                                     | 366 |
| 1.8.3     | Prozessbeschreibung .....                                              | 367 |
| 1.8.3.1   | Die Basis des Verfahrens - Formfüllung und Erstarrung .....            | 367 |
| 1.8.3.2   | Simulation in der Arbeitsvorbereitung - Speisung und Porositäten ..... | 369 |
| 1.8.3.3   | Spannungen und Verzug .....                                            | 370 |
| 1.8.3.4   | Die Vielfalt von Gusswerkstoffen .....                                 | 373 |
| 1.8.4     | Anforderungen des Prozesses .....                                      | 375 |
| 1.8.4.1   | Beispiel Dauerformverfahren .....                                      | 375 |
| 1.8.4.2   | Kein Gussteil ohne Form - Sandsimulation .....                         | 376 |

|          |                                                                      |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.8.4.3  | Die Prozesskette .....                                               | 377        |
| 1.8.5    | Gießtechnische Optimierung.....                                      | 378        |
| 1.8.6    | Entwicklungs- und Optimierungswerkzeug Simulation .....              | 380        |
| 1.8.6.1  | Potenziale der Integration in die Prozess-Entwicklungskette .....    | 380        |
| 1.8.6.2  | Einsparpotenziale durch Simulation.....                              | 382        |
| 1.8.7    | Voraussetzungen für erfolgreiche Nutzung .....                       | 382        |
| 1.8.7.1  | Hardware .....                                                       | 382        |
| 1.8.7.2  | Unverzichtbare Voraussetzungen: Daten .....                          | 384        |
| 1.8.7.3  | Simulation im gesamten Unternehmen.....                              | 384        |
| 1.9      | Produktplanung und Kalkulation in der Gießerei.....                  | 388        |
| 1.9.1    | Bedeutung der Arbeits- und Ressourcenplanung im ERP/PPS-System ..... | 388        |
| 1.9.2    | Gießereitypische Anforderungen an die Produktplanung.....            | 389        |
| 1.9.3    | Angebotskalkulation, Auftragsvorkalkulation .....                    | 392        |
| 1.9.4    | Planungssystematik in einem gießereitypischen MES/PPS-System .....   | 397        |
| 1.9.5    | Rückmeldungen und Nachkalkulation im integrierten System .....       | 398        |
| <b>2</b> | <b>Pulvermetallurgie .....</b>                                       | <b>399</b> |
| 2.1      | Bedeutung der Pulvermetallurgie und Einteilung der Werkstoffe .....  | 401        |
| 2.2      | Herstellung der Sinterpulver .....                                   | 405        |
| 2.3      | Eigenschaften der Sinterpulver .....                                 | 407        |
| 2.3.1    | Physikalische Eigenschaften .....                                    | 407        |
| 2.3.1.1  | Spezifische Oberfläche .....                                         | 408        |
| 2.3.1.2  | Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung .....                     | 408        |
| 2.3.1.3  | Teilchenform .....                                                   | 408        |
| 2.3.1.4  | Härte.....                                                           | 408        |
| 2.3.2    | Technologische Eigenschaften .....                                   | 409        |
| 2.4      | Formgebung und Sinterung .....                                       | 410        |
| 2.4.1    | Möglichkeiten der Formgebung .....                                   | 410        |
| 2.4.1.1  | Schüttisinterung (Gravity Sintering) .....                           | 410        |
| 2.4.1.2  | Axiale Presstechnik .....                                            | 411        |
| 2.4.1.3  | Warmpresstechnik (Warm Compaction) .....                             | 414        |
| 2.4.1.4  | Kaltisostatische Presstechnik .....                                  | 415        |
| 2.4.1.5  | Heißisostatisches Verdichten (Hot isostatic pressing – HIP).....     | 415        |
| 2.4.1.6  | Pulvermetallurgisches Spritzgießen (Metal Injection Molding) .....   | 415        |
| 2.4.1.7  | Pulverwalzen .....                                                   | 417        |
| 2.4.1.8  | Schlickergießen .....                                                | 417        |
| 2.4.2    | Verfahren der Sinterung .....                                        | 417        |
| 2.4.2.1  | Phänomenologie der Sintertechnik .....                               | 417        |
| 2.4.2.2  | Sinteratmosphären .....                                              | 418        |
| 2.4.2.3  | Anlagen für den Sinterprozess .....                                  | 418        |
| 2.4.3    | Verfahren unter Anwendung von Druck und Temperatur .....             | 419        |
| 2.4.3.1  | Pulverschmieden .....                                                | 419        |
| 2.4.3.2  | Heißisostatisches Pressen .....                                      | 420        |
| 2.4.3.3  | Strangpressen .....                                                  | 420        |
| 2.4.3.4  | Sprühkompaktieren .....                                              | 420        |
| 2.4.3.5  | Hochgeschwindigkeitsverdichten .....                                 | 420        |
| 2.4.4    | Nachbearbeitung der Formkörper.....                                  | 420        |

|           |                                                               |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.4.1   | Kalibrieren .....                                             | 420        |
| 2.4.4.2   | Entgraten .....                                               | 421        |
| 2.4.4.3   | Spanende Bearbeitung .....                                    | 421        |
| 2.4.4.4   | Infiltration und Imprägnation .....                           | 422        |
| 2.4.4.5   | Metallische Überzüge.....                                     | 423        |
| 2.4.4.6   | Beschichtungen aus der Gasphase .....                         | 423        |
| 2.4.4.7   | Randschichtverfestigung .....                                 | 423        |
| 2.4.4.8   | Oberflächenumschmelzen .....                                  | 424        |
| 2.4.4.9   | Wärmebehandlung .....                                         | 424        |
| 2.4.5     | Fügen von Sintereisen und Sinterstahl .....                   | 424        |
| 2.5       | Eigenschaften von Sinterwerkstoffen .....                     | 425        |
| 2.5.1     | Ausbildung der Werkstoffeigenschaften .....                   | 425        |
| 2.5.2     | Ausbildung der Oberfläche .....                               | 426        |
| 2.5.3     | Erzielbare Toleranzen.....                                    | 427        |
| 2.5.4     | Härte von porösen Werkstoffen .....                           | 428        |
| 2.5.5     | Festigkeitseigenschaften.....                                 | 429        |
| 2.6       | Beispielhafte Anwendungen von Sinterwerkstoffen .....         | 434        |
| 2.6.1     | Sinterfilter .....                                            | 434        |
| 2.6.2     | Sintergleitlager.....                                         | 435        |
| 2.6.3     | Axial gepresste Formteile .....                               | 436        |
| 2.6.3.1   | Niedriglegierte Werkstoffe.....                               | 436        |
| 2.6.3.2   | Weichmagnetische Werkstoffe .....                             | 440        |
| 2.6.3.3   | Soft Magnetics Composites (SMC) .....                         | 440        |
| 2.6.4     | Friktionswerkstoffe.....                                      | 441        |
| 2.6.5     | MIM-Bauteile .....                                            | 442        |
| 2.6.5.1   | Niedriglegierte FeNiCr-Stähle .....                           | 442        |
| 2.6.5.2   | Säure- und laugenbeständiger Stahl .....                      | 443        |
| 2.6.5.3   | Hitzebeständiger Stahl .....                                  | 444        |
| 2.6.5.4   | Verschleißbeständiger Stahl.....                              | 444        |
| 2.6.5.5   | Weichmagnetischer FeSi-Werkstoff.....                         | 445        |
| 2.6.5.6   | Hochwarmfeste Ni-Basislegierung .....                         | 445        |
| 2.6.5.7   | Hartmetalle .....                                             | 445        |
| 2.6.5.8   | Zweikomponentenbauteile .....                                 | 446        |
| 2.7       | Zusammenfassung und Ausblick .....                            | 446        |
| <b>II</b> | <b>Urformen von Kunststoffen .....</b>                        | <b>449</b> |
| <b>1</b>  | <b>Einführung in die Urformtechnik von Kunststoffen .....</b> | <b>451</b> |
| 1.1       | Einleitung.....                                               | 453        |
| 1.2       | Aufbau der Kunststoffe .....                                  | 453        |
| 1.2.1     | Makromolekularer Aufbau der Kunststoffe .....                 | 454        |
| 1.2.2     | Herstellung von Polymeren .....                               | 454        |
| 1.2.2.1   | Polymerisation.....                                           | 454        |
| 1.2.2.2   | Polyaddition .....                                            | 456        |
| 1.2.2.3   | Polykondensation.....                                         | 456        |
| 1.2.3     | Bindungskräfte in Polymeren .....                             | 457        |

|            |                                                                  |     |
|------------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.3        | Einteilung der Kunststoffe.....                                  | 458 |
| 1.3.1      | Thermoplaste .....                                               | 459 |
| 1.3.1.1    | Grundsätzliche Eigenschaften thermoplastischer Kunststoffe ..... | 459 |
| 1.3.1.2    | Unterteilung nach Morphologie bzw. Ordnungszustand .....         | 462 |
| 1.3.1.2.1  | Amorphe Thermoplaste.....                                        | 462 |
| 1.3.1.2.2  | Teilkristalline Thermoplaste.....                                | 463 |
| 1.3.1.3    | Unterteilung nach Leistungs- bzw. Preisklassen .....             | 465 |
| 1.3.1.3.1  | Standard-Thermoplaste .....                                      | 467 |
| 1.3.1.3.2  | Technische Thermoplaste.....                                     | 467 |
| 1.3.1.3.3  | Hochleistungskunststoffe .....                                   | 467 |
| 1.3.2      | Elastomere und Duroplaste .....                                  | 468 |
| 1.3.2.1    | Elastomere.....                                                  | 468 |
| 1.3.2.1.1  | Begriffe .....                                                   | 468 |
| 1.3.2.1.2  | Eigenschaften der Elastomere .....                               | 468 |
| 1.3.2.1.3  | Einteilung der Kautschuke .....                                  | 469 |
| 1.3.2.1.4  | Aufbau von Elastomermischungen.....                              | 470 |
| 1.3.2.2    | Duroplaste .....                                                 | 471 |
| 1.3.3      | Copolymere und Polymergemische.....                              | 472 |
| 1.3.3.1    | Strukturen von Copolymeren.....                                  | 472 |
| 1.3.3.2    | Kinetik der Copolymerisation .....                               | 473 |
| 1.3.3.3    | Beispiele für Copolymere.....                                    | 473 |
| 1.3.3.3.1  | PE/PP-Copolymere .....                                           | 474 |
| 1.3.3.3.2  | Styrolcopolymere .....                                           | 474 |
| 1.3.3.3.3  | Flüssigkristalline Kunststoffe .....                             | 474 |
| 1.3.3.3.4  | Thermoplastische Elastomere .....                                | 475 |
| 1.3.3.4    | Arten von Polymergemischen .....                                 | 475 |
| 1.3.3.5    | Beispiele für Polymergemische.....                               | 476 |
| 1.3.4      | Additive und Zuschlagstoffe.....                                 | 476 |
| 1.3.4.1    | Zuschlagstoffe.....                                              | 476 |
| 1.3.4.1.1  | Gleitmittel .....                                                | 476 |
| 1.3.4.1.2  | Stabilisatoren .....                                             | 477 |
| 1.3.4.1.3  | Antistatika.....                                                 | 477 |
| 1.3.4.1.4  | Flammschutzmittel .....                                          | 477 |
| 1.3.4.1.5  | Farbmittel.....                                                  | 477 |
| 1.3.4.1.6  | Weichmacher .....                                                | 477 |
| 1.3.4.1.7  | Haftvermittler .....                                             | 478 |
| 1.3.4.1.8  | Treibmittel.....                                                 | 478 |
| 1.3.4.1.9  | Duftstoffe .....                                                 | 478 |
| 1.3.4.1.10 | Nukleierungsmittel .....                                         | 478 |
| 1.3.4.2    | Füll- und Verstärkungsstoffe.....                                | 480 |
| 1.3.4.2.1  | Kugelförmige Füllstoffe.....                                     | 480 |
| 1.3.4.2.2  | Plättchenförmige Füllstoffe .....                                | 480 |
| 1.3.4.2.3  | Faserartige Füllstoffe.....                                      | 480 |
| 1.4        | Verarbeitungsrelevante Werkstoffeigenschaften.....               | 480 |
| 1.4.1      | Fließeigenschaften von Kunststoffschmelzen .....                 | 480 |
| 1.4.1.1    | Fließverhalten.....                                              | 481 |
| 1.4.1.2    | Viskoelastische Eigenschaften.....                               | 483 |
| 1.4.1.3    | Orientierungen .....                                             | 484 |
| 1.4.1.4    | Messung rheologischer Eigenschaften .....                        | 484 |
| 1.4.1.4.1  | MFR-Messgerät .....                                              | 485 |
| 1.4.1.4.2  | Hochdruckkapillarrheometer.....                                  | 485 |

|           |                                                                        |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.4.1.4.3 | Rotationsrheometer .....                                               | 487        |
| 1.4.2     | Abkühlung aus der Schmelze und Entstehung von inneren Strukturen ..... | 488        |
| 1.4.2.1   | Struktur und innere Eigenschaften .....                                | 488        |
| 1.4.2.2   | Das Verformungsverhalten fester Kunststoffe .....                      | 490        |
| <b>2</b>  | <b>Aufbereitungstechnik .....</b>                                      | <b>493</b> |
| 2.1       | Kunststoff-Aufbereitung .....                                          | 495        |
| 2.1.1     | Compoundieren .....                                                    | 496        |
| 2.1.2     | Rezepturbestandteile .....                                             | 496        |
| 2.2       | Mischen und Dosieren .....                                             | 497        |
| 2.2.1     | Feststoffmischer .....                                                 | 498        |
| 2.2.1.1   | Schwerkraftmischer .....                                               | 498        |
| 2.2.1.2   | Schubmischer .....                                                     | 498        |
| 2.2.1.3   | Fluidmischer .....                                                     | 498        |
| 2.2.2     | Dosieraggregate .....                                                  | 498        |
| 2.2.2.1   | Volumetrische Dosieraggregate .....                                    | 498        |
| 2.2.2.2   | Gravimetrische Dosieraggregate .....                                   | 500        |
| 2.3       | Extruder .....                                                         | 502        |
| 2.3.1     | Allgemeiner Aufbau .....                                               | 502        |
| 2.3.2     | Antriebsmotoren .....                                                  | 503        |
| 2.3.2.1   | Auswahlkriterien, IP-Schutzklassen .....                               | 503        |
| 2.3.2.2   | Gleichstromantriebe .....                                              | 504        |
| 2.3.2.3   | Drehstromantriebe .....                                                | 505        |
| 2.3.3     | Sicherheitskupplung .....                                              | 506        |
| 2.3.4     | Getriebe .....                                                         | 507        |
| 2.3.4.1   | Verzahnungen .....                                                     | 507        |
| 2.3.4.2   | Lagerung .....                                                         | 507        |
| 2.3.4.3   | Ölschmieranlage .....                                                  | 508        |
| 2.3.4.4   | Schmierstoffe .....                                                    | 508        |
| 2.3.4.5   | Getriebebauart .....                                                   | 508        |
| 2.3.4.5.1 | Getriebe mit einer Abtriebswelle .....                                 | 509        |
| 2.3.4.5.2 | Getriebe mit zwei oder mehreren Abtriebswellen .....                   | 509        |
| 2.3.5     | Schneckenwellenkupplung .....                                          | 511        |
| 2.3.6     | Verfahrensteil des Extruders .....                                     | 511        |
| 2.3.6.1   | Schneckenzyylinder und Schneckenwellen .....                           | 512        |
| 2.3.6.1.1 | Temperierung .....                                                     | 512        |
| 2.3.6.1.2 | Verschleißverhalten, Werkstoffe .....                                  | 512        |
| 2.3.7     | Verfahrenszonen .....                                                  | 514        |
| 2.3.7.1   | Einzugs- und Feststoff-Förderzone .....                                | 515        |
| 2.3.7.2   | Aufschmelzzone .....                                                   | 516        |
| 2.3.7.3   | Misch- und Homogenisierungszone .....                                  | 516        |
| 2.3.7.3.1 | Dispersives Mischen .....                                              | 516        |
| 2.3.7.3.2 | Distributives Mischen .....                                            | 517        |
| 2.3.7.4   | Entgasungszone .....                                                   | 519        |
| 2.3.7.4.1 | Entgasungsmechanismus .....                                            | 519        |
| 2.3.7.4.2 | Entgasungsdome .....                                                   | 519        |
| 2.3.7.4.3 | Vakuumanlagen .....                                                    | 519        |
| 2.3.7.4.4 | Standard-Entgasung .....                                               | 520        |
| 2.3.7.4.5 | Flash-Entgasung .....                                                  | 520        |

|           |                                                                         |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.3.7.4.6 | Rest-Entgasung.....                                                     | 520        |
| 2.3.7.4.7 | Entgasen mit Schleppmitteln .....                                       | 521        |
| 2.3.7.5   | Austragszone .....                                                      | 522        |
| 2.4       | Austragsteile.....                                                      | 523        |
| 2.4.1     | Zahnradpumpen .....                                                     | 523        |
| 2.4.2     | Schmelzefilter.....                                                     | 525        |
| 2.4.3     | Granuliertvorrichtungen .....                                           | 527        |
| 2.4.3.1   | Kaltabschlagverfahren .....                                             | 527        |
| 2.4.3.1.1 | Stranggranulierung .....                                                | 527        |
| 2.4.3.1.2 | Unterwasserstranggranulierung .....                                     | 528        |
| 2.4.3.2   | Heißabschlagverfahren .....                                             | 528        |
| 2.4.3.2.1 | Messerwalzengranulierung.....                                           | 528        |
| 2.4.3.2.2 | Exzentrische Granulierung.....                                          | 529        |
| 2.4.3.2.3 | Zentrische Granulierung.....                                            | 529        |
| 2.5       | Granulatnachbehandlung .....                                            | 532        |
| 2.6       | Extruderbauarten.....                                                   | 533        |
| 2.6.1     | Einschneckenextruder .....                                              | 534        |
| 2.6.1.1   | Standardbauform.....                                                    | 534        |
| 2.6.1.2   | Ko-Kneter.....                                                          | 536        |
| 2.6.2     | Dicht kämmende Doppelschneckenextruder.....                             | 537        |
| 2.6.2.1   | Gegenläufige Doppelschneckenextruder .....                              | 537        |
| 2.6.2.2   | Gleichläufige Doppelschneckenextruder .....                             | 538        |
| 2.6.3     | Gegenläufige, tangierende Doppelschneckenmischer .....                  | 540        |
| 2.6.4     | Mehrschneckenextruder.....                                              | 542        |
| 2.6.4.1   | Planetwalzenextruder .....                                              | 542        |
| 2.6.4.2   | Ringextruder.....                                                       | 543        |
| 2.6.5     | Vergleich der Extrudersysteme.....                                      | 544        |
| 2.6.6     | Extruderauslegung .....                                                 | 544        |
| 2.7       | Verfahrensbeispiele.....                                                | 545        |
| 2.7.1     | Polyolefine.....                                                        | 545        |
| 2.7.2     | Technische Kunststoffe.....                                             | 546        |
| 2.7.3     | Pulverlacke und Toner .....                                             | 546        |
| 2.7.4     | Temperatur- und scherempfindliche Produkte.....                         | 548        |
| 2.7.5     | Reaktives Aufbereiten .....                                             | 548        |
| 2.7.6     | Chemische Produkte.....                                                 | 549        |
| 2.7.7     | Lebensmitteltechnik.....                                                | 549        |
| <b>3</b>  | <b>Extrusion.....</b>                                                   | <b>553</b> |
| 3.1       | Einschneckenextruder .....                                              | 555        |
| 3.1.1     | Allgemeines .....                                                       | 555        |
| 3.1.2     | Spezifikation der Randbedingungen und Anforderungen des Extruders ..... | 558        |
| 3.1.3     | Prozesse im Plastifizierextruder.....                                   | 560        |
| 3.1.3.1   | Feststoffförderung.....                                                 | 560        |
| 3.1.3.2   | Aufschmelzen .....                                                      | 562        |
| 3.1.3.3   | Schmelzeförderung.....                                                  | 563        |
| 3.1.3.4   | Mischen/Homogenisieren (Scher- und Mischteile).....                     | 564        |
| 3.1.3.5   | Zusammenfassende Betrachtung (Verläufe über der Schneckenlänge).....    | 566        |
| 3.1.4     | Bauarten von Extrudern und ihre Betriebskennlinien.....                 | 567        |

|           |                                                                                 |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1.4.1   | Glattrohrextruder .....                                                         | 567 |
| 3.1.4.2   | Nutbuchsenextruder .....                                                        | 567 |
| 3.1.4.3   | Entgasungsextruder .....                                                        | 568 |
| 3.1.4.4   | Schmelzeextruder .....                                                          | 569 |
| 3.1.4.5   | Schnelllaufende Extruder .....                                                  | 570 |
| 3.1.4.6   | Baureihen .....                                                                 | 570 |
| 3.1.5     | Extrusionsmaschinenbau .....                                                    | 573 |
| 3.1.5.1   | Zylinderbaugruppe .....                                                         | 573 |
| 3.1.5.2   | Schnecke .....                                                                  | 573 |
| 3.1.5.3   | Antriebsstrang .....                                                            | 573 |
| 3.1.5.4   | Gestell .....                                                                   | 574 |
| 3.1.5.5   | Sensorik, Steuerung und Regelung .....                                          | 574 |
| 3.1.6     | Extrusionssysteme .....                                                         | 575 |
| 3.1.6.1   | Zusammenschaltung mit Filtern und Pumpen .....                                  | 575 |
| 3.1.6.2   | Coextruder in Mehrkomponentenanlagen .....                                      | 575 |
| 3.2       | Schmelzefiltration .....                                                        | 576 |
| 3.2.1     | Filtrationsgrundlagen .....                                                     | 576 |
| 3.2.2     | Aufbau des Filtermediums .....                                                  | 576 |
| 3.2.3     | Filtrationssysteme .....                                                        | 578 |
| 3.2.4     | Entwicklung der Bolzensiebwechsler .....                                        | 578 |
| 3.2.5     | Weitere kontinuierliche Schmelzefilter am Markt .....                           | 581 |
| 3.2.6     | Zahnradpumpe .....                                                              | 582 |
| 3.3       | Verfahrenstechnische Auslegung von Extrusionswerkzeugen .....                   | 585 |
| 3.3.1     | Rheologische Auslegung, Simulation, Grundlagen von Mehrschichtströmungen .....  | 585 |
| 3.3.2     | Werkzeuge mit kreisförmigem Austrittsquerschnitt .....                          | 590 |
| 3.3.3     | Werkzeuge mit ebenem Schlitzquerschnitt .....                                   | 592 |
| 3.3.3.1   | Bauformen von Breitschlitzwerkzeugen .....                                      | 592 |
| 3.3.3.2   | Herstellung von Mehrschichtverbunden mit Hilfe von Coextrusionswerkzeugen ..... | 594 |
| 3.3.3.2.1 | Mehrkanalwerkzeuge .....                                                        | 594 |
| 3.3.3.2.2 | Adapterwerkzeuge .....                                                          | 594 |
| 3.3.4     | Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt .....                 | 595 |
| 3.3.4.1   | Stegdornhalter .....                                                            | 595 |
| 3.3.4.2   | Pinolenkopf .....                                                               | 595 |
| 3.3.4.3   | Wendelverteiler .....                                                           | 596 |
| 3.3.4.4   | Siebkorbwerkzeug .....                                                          | 596 |
| 3.3.5     | Werkzeuge mit beliebigen Austrittsquerschnitten .....                           | 597 |
| 3.3.6     | Temperierung .....                                                              | 599 |
| 3.3.6.1   | Bauformen und Verwendung .....                                                  | 599 |
| 3.3.6.1.1 | Elektrisch beheizte Werkzeuge .....                                             | 599 |
| 3.3.6.1.2 | Flüssigtemperierte Werkzeuge .....                                              | 600 |
| 3.3.7     | Mechanische Auslegung .....                                                     | 600 |
| 3.3.7.1   | Mechanische Auslegung eines Breitschlitzverteilers .....                        | 601 |
| 3.3.7.2   | Mechanische Auslegung eines Radialwendelverteilers .....                        | 601 |
| 3.4       | Verfahrens- und Anlagentechnik zur Herstellung von Extrusionsprodukten .....    | 602 |
| 3.4.1     | Rohrextrusion .....                                                             | 602 |
| 3.4.1.1   | Einleitung .....                                                                | 602 |
| 3.4.1.2   | Eingesetzte Kunststoffe .....                                                   | 602 |
| 3.4.1.2.1 | Polyvinylchlorid (PVC) .....                                                    | 602 |
| 3.4.1.2.2 | Polyolefine .....                                                               | 603 |
| 3.4.1.2.3 | Weitere Rohrwerkstoffe .....                                                    | 603 |

|           |                                                                        |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.1.3   | Rohrtypen .....                                                        | 604 |
| 3.4.1.3.1 | Einschichtige Rohre .....                                              | 604 |
| 3.4.1.3.2 | Mehrschichtige Rohre .....                                             | 604 |
| 3.4.1.3.3 | Faserverstärkte Rohre .....                                            | 605 |
| 3.4.1.3.4 | Großrohre .....                                                        | 605 |
| 3.4.1.3.5 | Ummantelte Stahlrohre.....                                             | 605 |
| 3.4.1.3.6 | Bewässerungsrohre .....                                                | 605 |
| 3.4.1.4   | Herstellverfahren für Rohre .....                                      | 605 |
| 3.4.1.4.1 | Materialbeschickung .....                                              | 606 |
| 3.4.1.4.2 | Extruder .....                                                         | 606 |
| 3.4.1.4.3 | Rohrwerkzeuge .....                                                    | 607 |
| 3.4.1.4.4 | Nachfolgeeinheiten .....                                               | 608 |
| 3.4.1.5   | Ausblick .....                                                         | 610 |
| 3.4.2     | Profilextrusion.....                                                   | 610 |
| 3.4.2.1   | Profile.....                                                           | 610 |
| 3.4.2.2   | Extrusionsprozess und Extrusionsverfahren .....                        | 611 |
| 3.4.2.3   | Extrusionswerkzeuge.....                                               | 612 |
| 3.4.2.3.1 | Extrusionsdüse .....                                                   | 612 |
| 3.4.2.3.2 | Bauarten .....                                                         | 612 |
| 3.4.2.3.3 | Konstruktive Auslegung und Simulation .....                            | 613 |
| 3.4.2.4   | Kalibrierwerkzeug .....                                                | 614 |
| 3.4.2.4.1 | Bauarten .....                                                         | 614 |
| 3.4.2.4.2 | Konstruktive Auslegung und Simulation .....                            | 615 |
| 3.4.2.5   | Post-CoExtrusion.....                                                  | 616 |
| 3.4.2.6   | Composite-Extrusion .....                                              | 617 |
| 3.4.2.7   | Extrusionsanlagen .....                                                | 618 |
| 3.4.2.7.1 | Vakuumkalibriertisch.....                                              | 618 |
| 3.4.2.7.2 | Profilaugenabzug.....                                                  | 618 |
| 3.4.2.7.3 | Profilcutter .....                                                     | 619 |
| 3.4.2.7.4 | Zusatzeinrichtungen.....                                               | 619 |
| 3.4.3     | Folienextrusion.....                                                   | 620 |
| 3.4.3.1   | Gießfolienextrusion .....                                              | 620 |
| 3.4.3.1.1 | Grundlagen der Gießfolienextrusion.....                                | 620 |
| 3.4.3.1.2 | Anlagen- und Verfahrenstechnik zur Herstellung von Gießfolien .....    | 620 |
| 3.4.3.1.3 | Anlagensteuerung und Automation .....                                  | 623 |
| 3.4.3.1.4 | Eigenschaften, Anwendungen und Einsatzgebiete von Gießfolien .....     | 623 |
| 3.4.3.2   | Glättwerkverfahren zur Herstellung von Flachfolien und Platten .....   | 626 |
| 3.4.3.2.1 | Aufbau einer Folien- oder Platten-Extrusionsanlage mit Glättwerk ..... | 626 |
| 3.4.3.2.2 | Bauformen von Glättwerken.....                                         | 627 |
| 3.4.3.2.3 | Aufgaben des Glättwerks .....                                          | 627 |
| 3.4.3.2.4 | Besonderheiten einer Flachfolienanlage .....                           | 628 |
| 3.4.3.2.5 | Besonderheiten einer Plattenanlage .....                               | 629 |
| 3.4.3.3   | Herstellung kalandrierter Folien .....                                 | 629 |
| 3.4.3.4   | Blasfolienextrusion .....                                              | 632 |
| 3.4.3.4.1 | Einleitung.....                                                        | 632 |
| 3.4.3.4.2 | Rohstoffe.....                                                         | 633 |
| 3.4.3.4.3 | Anwendungen.....                                                       | 633 |
| 3.4.3.4.4 | Extruder.....                                                          | 635 |
| 3.4.3.4.5 | Blaskopf.....                                                          | 635 |
| 3.4.3.4.6 | Schlauchbildungszone.....                                              | 636 |
| 3.4.3.4.7 | Abzug .....                                                            | 638 |

|           |                                                                       |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.3.4.8 | Automation.....                                                       | 638 |
| 3.4.3.4.9 | Sonderbauformen.....                                                  | 638 |
| 3.4.3.5   | Extrusion von Schaumfolien und -platten .....                         | 640 |
| 3.4.3.5.1 | Eigenschaften von Schaumkunststoffen .....                            | 640 |
| 3.4.3.5.2 | Verfahren zur Herstellung von extrudierten Schäumen.....              | 640 |
| 3.4.3.5.3 | Anlagentechnik zur Herstellung physikalisch getriebener Schäume ..... | 641 |
| 3.4.3.5.4 | Werkzeugkonzepte bei der Schaumextrusion .....                        | 643 |
| 3.4.3.6   | Folienrecktechnologie .....                                           | 646 |
| 3.4.3.6.1 | Einleitung.....                                                       | 646 |
| 3.4.3.6.2 | Biaxiale Folienreckanlagen .....                                      | 648 |
| 3.4.3.6.3 | Folientypen und Einsatzgebiete.....                                   | 656 |
| 3.4.3.6.4 | Trends für verstreckte Folien .....                                   | 660 |
| 3.4.3.7   | Wicklertechnologie .....                                              | 662 |
| 3.4.3.7.1 | Wickelverfahren.....                                                  | 662 |
| 3.4.3.7.2 | Maschinentechnik.....                                                 | 663 |
| 3.4.3.7.3 | Prozessführung und Wickeldefekte .....                                | 664 |
| 3.4.4     | Extrusionsblasformen .....                                            | 667 |
| 3.4.4.1   | Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper.....                   | 667 |
| 3.4.4.2   | Prozessablauf beim Extrusionsblasformen.....                          | 668 |
| 3.4.4.3   | Kunststoffe für das Extrusionsblasformen.....                         | 669 |
| 3.4.4.4   | Maschinentechnik.....                                                 | 670 |
| 3.4.4.4.1 | Grundsätzlicher Aufbau einer Blasformmaschine.....                    | 670 |
| 3.4.4.4.2 | Schlauchköpfe .....                                                   | 670 |
| 3.4.4.4.3 | Kontinuierliche/diskontinuierliche Extrusion .....                    | 672 |
| 3.4.4.4.4 | Wanddickensteuerung.....                                              | 673 |
| 3.4.4.4.5 | Schließeinheiten.....                                                 | 674 |
| 3.4.4.4.6 | Einzel-/Mehrfach-Kopf Anlagen .....                                   | 676 |
| 3.4.4.4.7 | Ein-/Doppelstationen-Maschinen.....                                   | 676 |
| 3.4.4.5   | Spezielle Verfahrensvarianten.....                                    | 677 |
| 3.4.4.5.1 | Mehrschicht-(Multilayer)/Coextrusionsblasformen.....                  | 677 |
| 3.4.4.5.2 | 3-D-Blasformen .....                                                  | 678 |
| 3.4.4.5.3 | Blasformen von faserverstärkten Thermoplasten.....                    | 681 |
| 3.4.4.5.4 | Blow Fill Seal-Verfahren.....                                         | 681 |
| 3.4.5     | Kautschukextrusion.....                                               | 683 |
| 3.4.5.1   | Einführung.....                                                       | 683 |
| 3.4.5.2   | Bauarten .....                                                        | 684 |
| 3.4.5.2.1 | Prinzipieller Aufbau .....                                            | 684 |
| 3.4.5.2.2 | Warmfütterextruder.....                                               | 685 |
| 3.4.5.2.3 | Kaltgummi-Stiftextruder.....                                          | 686 |
| 3.4.5.2.4 | Kaltgummi-Entgasungsextruder.....                                     | 688 |
| 3.4.5.2.5 | Zahnradpumpe .....                                                    | 689 |
| 3.4.5.2.6 | Sonderbauarten .....                                                  | 689 |
| 3.4.5.3   | Extrusionsköpfe und -werkzeuge .....                                  | 689 |
| 3.4.5.4   | Betriebsverhalten bei der Kautschukextrusion.....                     | 691 |
| 3.4.5.4.1 | Leistungsgrenzen .....                                                | 691 |
| 3.4.5.4.2 | Einflussgrößen.....                                                   | 692 |
| 3.4.5.5   | Extrusionslinien .....                                                | 693 |
| 3.4.5.5.1 | Extrusionslinien zur diskontinuierlichen Produktherstellung .....     | 694 |
| 3.4.5.5.2 | Extrusionslinien zur kontinuierlichen Produktherstellung.....         | 694 |
| 3.4.5.5.3 | Peripherieeinrichtungen.....                                          | 696 |

|           |                                                                      |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5       | Grundlagen der Mess- und Regelungstechnik für Extrusionsanlagen..... | 697        |
| 3.5.1     | Grundlagen und Herausforderungen.....                                | 697        |
| 3.5.2     | Mess- und Automatisierungselemente entlang der Prozesskette .....    | 697        |
| 3.5.2.1   | Materialzufuhr und Dosierung .....                                   | 697        |
| 3.5.2.1.1 | Materialzufuhr.....                                                  | 697        |
| 3.5.2.1.2 | Gravimetrische Dosierung.....                                        | 698        |
| 3.5.2.1.3 | Batchdosierung.....                                                  | 698        |
| 3.5.2.1.4 | Volumetrische Dosierung.....                                         | 698        |
| 3.5.2.2   | Mess- und Regelungsgrößen am Extruder .....                          | 699        |
| 3.5.2.2.1 | Extruderzylinder und Extruderschnecke .....                          | 699        |
| 3.5.2.2.2 | Siebe.....                                                           | 699        |
| 3.5.2.2.3 | Schmelzepumpe .....                                                  | 699        |
| 3.5.2.2.4 | Flansche, Rohrverbindungen, Feedblock .....                          | 700        |
| 3.5.2.3   | Mess- und Regelungsgrößen an der Düse .....                          | 700        |
| 3.5.2.3.1 | Temperaturregelung und Druckmessung .....                            | 700        |
| 3.5.2.4   | Kühlung, Kalibrierung, Produktentnahme .....                         | 700        |
| 3.5.3     | Messen und Regeln der Qualitätseigenschaften .....                   | 700        |
| 3.5.3.1   | Dickenmessung .....                                                  | 700        |
| 3.5.3.2   | Dickenregelung in Extrusionsrichtung .....                           | 701        |
| 3.5.3.3   | Dickenregelung quer zur Extrusionsrichtung (Dickenverteilung) .....  | 701        |
| 3.5.3.3.1 | Flachfolie .....                                                     | 701        |
| 3.5.3.3.2 | Blasfolie .....                                                      | 702        |
| 3.5.3.3.3 | Rohre, Kabelummantelung, Profilextrusion .....                       | 702        |
| 3.5.3.3.4 | Blasformdüse .....                                                   | 702        |
| 3.5.3.4   | Weitere Qualitätsmerkmale .....                                      | 702        |
| 3.5.4     | Aufbau eines Automatisierungssystems .....                           | 703        |
| 3.5.5     | Entwicklungstendenzen.....                                           | 703        |
| <b>4</b>  | <b>Spritzgießen .....</b>                                            | <b>705</b> |
| 4.1       | Wirtschaftliche Bedeutung .....                                      | 709        |
| 4.2       | Der Spritzgießzyklus.....                                            | 711        |
| 4.2.1     | Verfahrensablauf.....                                                | 711        |
| 4.2.2     | Dosierphase.....                                                     | 712        |
| 4.2.3     | Einspritzphase.....                                                  | 712        |
| 4.2.4     | Nachdruckphase.....                                                  | 716        |
| 4.2.5     | Kühlphase.....                                                       | 717        |
| 4.3       | Produktentwicklung beim Spritzgießen .....                           | 717        |
| 4.3.1     | Erstellen der Anforderungsliste.....                                 | 718        |
| 4.3.2     | Machbarkeitsstudie .....                                             | 718        |
| 4.3.3     | Erstellen des Projektplans .....                                     | 719        |
| 4.3.4     | Produktgestaltung/Aufgaben der Entwicklungsteams .....               | 719        |
| 4.3.5     | Werkstoffauswahl .....                                               | 719        |
| 4.3.6     | Konstruktion/Rapid Prototyping .....                                 | 721        |
| 4.3.6.1   | Mechanische Auslegung/Dimensionierung .....                          | 721        |
| 4.3.6.2   | Rheologische Auslegung .....                                         | 722        |
| 4.3.7     | Werkzeugauslegung .....                                              | 723        |
| 4.3.8     | Erprobung .....                                                      | 723        |

|           |                                                                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4       | Maschinentechnik.....                                                                                 | 724 |
| 4.4.1     | Einführung.....                                                                                       | 724 |
| 4.4.2     | Plastifizier- und Einspritzeinheit.....                                                               | 725 |
| 4.4.2.1   | Trichter .....                                                                                        | 725 |
| 4.4.2.2   | Schneckensysteme.....                                                                                 | 726 |
| 4.4.2.3   | Rückstromsperre (RSP) .....                                                                           | 732 |
| 4.4.2.4   | Maschinendüse.....                                                                                    | 732 |
| 4.4.2.5   | Zylinderbeheizung.....                                                                                | 733 |
| 4.4.2.6   | Schneckenantrieb .....                                                                                | 735 |
| 4.4.2.6.1 | Rotatorischer Schneckenantrieb.....                                                                   | 735 |
| 4.4.2.6.2 | Translatorischer Schneckenantrieb.....                                                                | 737 |
| 4.4.3     | Antriebssysteme von Spritzgießmaschinen .....                                                         | 739 |
| 4.4.4     | Schließeinheiten.....                                                                                 | 743 |
| 4.4.4.1   | Schließeinheiten mit mechanischer Zuhaltung.....                                                      | 744 |
| 4.4.4.2   | Schließeinheiten mit hydraulischer Zuhaltung.....                                                     | 746 |
| 4.5       | Spritzgießwerkzeugtechnik.....                                                                        | 751 |
| 4.5.1     | Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs .....                                                                | 752 |
| 4.5.2     | Funktionskomplexe von Spritzgießwerkzeugen.....                                                       | 752 |
| 4.5.2.1   | Angusssystem.....                                                                                     | 752 |
| 4.5.2.2   | Kavität zur Ausformung der Schmelze .....                                                             | 757 |
| 4.5.2.3   | Temperiersystem.....                                                                                  | 757 |
| 4.5.2.4   | Entformungssystem.....                                                                                | 761 |
| 4.5.2.5   | Nebenfunktionen: Führung und Zentrierung, Maschinen- und Kraftaufnahme,<br>Bewegungsübertragung ..... | 764 |
| 4.5.3     | Einteilung und Klassifikation von Spritzgießwerkzeugen .....                                          | 766 |
| 4.5.3.1   | Unterscheidung nach Anzahl der Trennebenen.....                                                       | 766 |
| 4.5.3.2   | Unterscheidung nach Art der Entformung.....                                                           | 767 |
| 4.5.3.3   | Unterscheidung nach Art der Angusstemperierung .....                                                  | 767 |
| 4.5.3.4   | Unterscheidung nach Art der Kraftaufnahme .....                                                       | 768 |
| 4.5.4     | Integrierte Bauteil- und Werkzeugkalkulation .....                                                    | 768 |
| 4.5.4.1   | Einflussfaktoren, Stellgrößen für die Bauteilkosten.....                                              | 769 |
| 4.5.4.2   | Einflussfaktoren, Stellgrößen für die Werkzeugkosten .....                                            | 770 |
| 4.5.4.3   | Kalkulationsverfahren für die Ermittlung von Werkzeugkosten.....                                      | 770 |
| 4.5.4.3.1 | Empirische Verfahren.....                                                                             | 771 |
| 4.5.4.3.2 | Das Prinzip der Kostenfunktion.....                                                                   | 771 |
| 4.5.4.3.3 | Das Prinzip der Kostenähnlichkeit.....                                                                | 772 |
| 4.5.4.3.4 | Ressourcenorientierte Prozesskosten-Rechnung.....                                                     | 772 |
| 4.5.4.3.5 | Unterstützung der Werkzeugkalkulation durch spezialisierte Software .....                             | 772 |
| 4.5.5     | Sonderwerkzeuge .....                                                                                 | 773 |
| 4.5.5.1   | Mehrkavitätenwerkzeuge .....                                                                          | 773 |
| 4.5.5.2   | Familienwerkzeuge.....                                                                                | 774 |
| 4.5.5.3   | Etagenwerkzeuge .....                                                                                 | 774 |
| 4.5.5.4   | Etagenwendetechnik .....                                                                              | 776 |
| 4.5.5.5   | Tandemwerkzeuge .....                                                                                 | 777 |
| 4.6       | Prozessverlauf der Formteilbildung beim Spritzgießen .....                                            | 779 |
| 4.6.1     | Prozessphasen .....                                                                                   | 779 |
| 4.6.1.1   | Einspritzphase.....                                                                                   | 779 |
| 4.6.1.2   | Umschaltphase .....                                                                                   | 782 |

|         |                                                                                   |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.6.1.3 | Nachdruckphase.....                                                               | 782 |
| 4.6.1.4 | Abkühlphase.....                                                                  | 784 |
| 4.6.2   | Zusammenhang zwischen Verarbeitung und der Struktur-Eigenschaftsbeziehung.....    | 786 |
| 4.6.2.1 | Orientierungen .....                                                              | 787 |
| 4.6.2.2 | Schwindung und Verzug .....                                                       | 790 |
| 4.6.2.3 | Kristallisation .....                                                             | 794 |
| 4.6.2.4 | Eigenspannungen .....                                                             | 797 |
| 4.6.2.5 | Weitere Prozesseinflüsse auf die inneren Eigenschaften .....                      | 799 |
| 4.6.2.6 | Fazit.....                                                                        | 799 |
| 4.6.3   | Prozessüberwachung beim Spritzgießen .....                                        | 800 |
| 4.6.3.1 | SPC .....                                                                         | 800 |
| 4.6.3.2 | Prozessüberwachung mit Maschinenkennzahlen .....                                  | 800 |
| 4.6.3.3 | Prozessüberwachung mit Sensoren im Werkzeug.....                                  | 800 |
| 4.6.3.4 | Qualitätsüberwachung mit Prozessmodellen .....                                    | 802 |
| 4.6.3.5 | Prozesssteuerung und -regelung mit Sensoren im Werkzeug .....                     | 803 |
| 4.6.4   | Typische Fehler beim Spritzgießen – Ursachen und Strategien zur Beseitigung ..... | 803 |
| 4.6.4.1 | Einführung .....                                                                  | 803 |
| 4.6.4.2 | Grundlagen .....                                                                  | 804 |
| 4.6.4.3 | Vorgehensweise zur Fehler-identifizierung und Fehlerdiagnose.....                 | 804 |
| 4.7     | Automation in der Spritzgießverarbeitung .....                                    | 811 |
| 4.7.1   | Einführung .....                                                                  | 811 |
| 4.7.2   | Produkt- und Werkzeuggestaltung.....                                              | 811 |
| 4.7.2.1 | Produktgestaltung.....                                                            | 811 |
| 4.7.2.2 | Werkzeuggestaltung.....                                                           | 811 |
| 4.7.2.3 | Werkzeugwechsel .....                                                             | 812 |
| 4.7.3   | Handling .....                                                                    | 813 |
| 4.7.3.1 | Roboterauswahl.....                                                               | 813 |
| 4.7.3.2 | Freiheitsgrad und Arbeitsraum .....                                               | 813 |
| 4.7.3.3 | Antriebe.....                                                                     | 813 |
| 4.7.3.4 | Roboterarten .....                                                                | 813 |
| 4.7.3.5 | Greifer .....                                                                     | 815 |
| 4.7.4   | Effiziente Fertigungszellen.....                                                  | 816 |
| 4.7.5   | Vorbearbeitung.....                                                               | 817 |
| 4.7.6   | Nachbearbeitung.....                                                              | 817 |
| 4.7.7   | Prüftechnik .....                                                                 | 818 |
| 4.7.8   | Verpacken und Transportieren .....                                                | 819 |
| 4.7.9   | Interaktion.....                                                                  | 819 |
| 4.7.9.1 | Ergonomie .....                                                                   | 819 |
| 4.7.9.2 | Schnittstellen nach Euromap .....                                                 | 819 |
| 4.7.9.3 | Steuerung.....                                                                    | 819 |
| 4.7.10  | Entscheidungshilfen zur Auswahl der optimalen Automation .....                    | 820 |
| 4.7.11  | Anwendungsbeispiele .....                                                         | 821 |
| 4.8     | Sonderverfahren des Spritzgießens .....                                           | 824 |
| 4.8.1   | Mehrkomponenten-Spritzgießen.....                                                 | 824 |
| 4.8.1.1 | Additionsverfahren .....                                                          | 824 |
| 4.8.1.2 | Serielle Verfahren .....                                                          | 825 |
| 4.8.1.3 | Simultane Verfahren.....                                                          | 827 |
| 4.8.1.4 | Sequenzverfahren .....                                                            | 829 |
| 4.8.1.5 | Sandwich-Spritzgießen .....                                                       | 829 |

|          |                                                                  |     |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.8.2    | Fluidinjektionstechnik .....                                     | 833 |
| 4.8.2.1  | Gasinjektionstechnik.....                                        | 836 |
| 4.8.2.2  | Wasserinjektionstechnik .....                                    | 837 |
| 4.8.2.3  | Gasaußendrucktechnik .....                                       | 838 |
| 4.8.3    | Schaumspritzgießen .....                                         | 840 |
| 4.8.3.1  | Einteilung verschiedener Schaumtypen.....                        | 840 |
| 4.8.3.2  | Eigenschaften von Schäumen .....                                 | 840 |
| 4.8.3.3  | Treibmittelarten.....                                            | 840 |
| 4.8.3.4  | Mechanismen der Schaumbildung .....                              | 842 |
| 4.8.3.5  | Verfahren zum Schaumspritzgießen .....                           | 842 |
| 4.8.3.6  | Schäumverfahren zum Erzeugen guter Oberflächen.....              | 844 |
| 4.8.4    | Mikrospritzgießen.....                                           | 847 |
| 4.8.4.1  | Werkzeugtechnik .....                                            | 847 |
| 4.8.4.2  | Fertigungsverfahren für mikrostrukturierte Kavitäten .....       | 849 |
| 4.8.4.3  | Maschinentechnik.....                                            | 849 |
| 4.8.5    | Hinterspritztechnik .....                                        | 852 |
| 4.8.5.1  | Übersicht über die Verfahren.....                                | 854 |
| 4.8.5.2  | Maschinentechnik für das Hinterspritzen .....                    | 857 |
| 4.8.5.3  | Werkzeugtechnik für die Hinterspritztechnik.....                 | 857 |
| 4.8.5.4  | Automatisierung der Hinterspritztechnik.....                     | 858 |
| 4.8.6    | Spritzprägen .....                                               | 859 |
| 4.8.6.1  | Einführung.....                                                  | 859 |
| 4.8.6.2  | Schließprägen.....                                               | 861 |
| 4.8.6.3  | Schließprägen mit Masseausdrücken .....                          | 861 |
| 4.8.6.4  | Expansionsprägen (Atmungsprägen) .....                           | 861 |
| 4.8.6.5  | Zweistufiges Expansionsprägen .....                              | 861 |
| 4.8.6.6  | Keil-Prägen.....                                                 | 862 |
| 4.8.6.7  | Spritzprägeprozess – Besonderheiten im pVT-Diagramm .....        | 862 |
| 4.8.7    | Transfer Moulding (Spritzpressen) .....                          | 864 |
| 4.8.8    | Injection Transfer Moulding .....                                | 868 |
| 4.8.8.1  | Injection Transfer Moulding in der Elastomerverarbeitung.....    | 868 |
| 4.8.8.2  | Injection Transfer Moulding in der Thermoplastverarbeitung ..... | 870 |
| 4.8.9    | Schmelzkerntechnik.....                                          | 872 |
| 4.8.9.1  | Einleitung.....                                                  | 872 |
| 4.8.9.2  | Verarbeitungsverfahren mit „verlorenen Kernen“ .....             | 872 |
| 4.8.9.3  | Verfahrensbeschreibung.....                                      | 873 |
| 4.8.10   | Insert-/Outserttechnik .....                                     | 877 |
| 4.8.10.1 | Inserttechnik.....                                               | 877 |
| 4.8.10.2 | Outserttechnik .....                                             | 879 |
| 4.8.11   | Hybridtechnik.....                                               | 883 |
| 4.8.11.1 | Funktionsprinzip.....                                            | 883 |
| 4.8.11.2 | Materialauswahl.....                                             | 883 |
| 4.8.11.3 | Konstruktion .....                                               | 884 |
| 4.8.11.4 | Fertigungsprozess.....                                           | 885 |
| 4.8.11.5 | Anwendungen.....                                                 | 886 |
| 4.8.12   | Pulverspritzgießen.....                                          | 887 |
| 4.8.12.1 | Vorteile und Anwendungsgebiete des Pulverspritzgießens .....     | 887 |
| 4.8.12.2 | Das Pulverspritzgießverfahren .....                              | 887 |
| 4.8.12.3 | Optimierung der Bauteilgeometrie für den Pulverspritzguss.....   | 888 |
| 4.8.12.4 | Toleranzen vom PIM-Bauteilen.....                                | 888 |

|          |                                                                  |            |
|----------|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b> | <b>Rotationsformen .....</b>                                     | <b>891</b> |
| 5.1      | Einführung .....                                                 | 893        |
| 5.2      | Grundlagen .....                                                 | 893        |
| 5.3      | Werkstoffe für das Rotationsformen .....                         | 894        |
| 5.4      | Maschinentechnik.....                                            | 894        |
| 5.5      | Werkzeuge und Bauteilauslegung .....                             | 896        |
| 5.5.1    | Werkzeuge.....                                                   | 896        |
| 5.5.2    | Bauteilauslegung.....                                            | 896        |
| 5.5.3    | Verfahrensvarianten.....                                         | 897        |
| 5.6      | Wirtschaftlichkeit und Vergleich mit anderen Verfahren .....     | 898        |
| <b>6</b> | <b>Pressen .....</b>                                             | <b>899</b> |
| 6.1      | Pressen von Elastomeren.....                                     | 901        |
| 6.1.1    | Die Presse.....                                                  | 901        |
| 6.1.2    | Die Werkzeuge.....                                               | 902        |
| 6.1.3    | Verfahrensablauf.....                                            | 902        |
| 6.1.4    | Vor- und Nachteile des Pressverfahrens.....                      | 903        |
| 6.2      | Pressen von faserverstärkten Kunststoffen .....                  | 903        |
| 6.2.1    | Maschinen- und Werkzeugtechnik.....                              | 903        |
| 6.2.2    | Fließpressen von SMC.....                                        | 904        |
| 6.2.3    | Fließpressen von thermoplastischen Werkstoffen.....              | 906        |
| <b>7</b> | <b>Herstellung von Formteilen aus PUR .....</b>                  | <b>909</b> |
| 7.1      | Werkstoff nach Maß durch Chemie und Verarbeitung.....            | 911        |
| 7.2      | Grundlagen der PUR-Verfahrenstechnik.....                        | 911        |
| 7.2.1    | Verfahren zur Dosierung und Vermischung von PUR-Rohstoffen ..... | 912        |
| 7.2.2    | Nukleierung und Treibmittel.....                                 | 916        |
| 7.3      | Anlagentechnik RIM und Reaktionsgießen .....                     | 918        |
| 7.3.1    | Formgebungswerkzeug.....                                         | 918        |
| 7.3.2    | Transporteinrichtungen .....                                     | 918        |
| 7.4      | Anwendungstechniken .....                                        | 920        |
| 7.4.1    | Gießen von PUR-Formteilen.....                                   | 920        |
| 7.4.1.1  | Gießen von PUR-Elastomeren .....                                 | 920        |
| 7.4.1.2  | Gießen von massiven oder geschäumten Formteilen.....             | 920        |
| 7.4.2    | RIM-Technik als Sonderform des Reaktionsgießens .....            | 921        |
| 7.4.2.1  | Verarbeitungstechnik.....                                        | 921        |
| 7.4.2.2  | RIM-Werkstoffe.....                                              | 922        |
| 7.4.2.3  | RRIM: Herstellung verstärkter RIM-Formteile .....                | 922        |
| 7.4.2.4  | Typische Anwendungen.....                                        | 922        |
| 7.4.3    | Herstellung langfaser-verstärkter PUR-Bauteile .....             | 922        |
| 7.4.3.1. | Structural Reaction Injection Moulding (S-RIM) Verfahren.....    | 922        |
| 7.4.3.2  | S-RIM-Sandwichbauteile .....                                     | 923        |
| 7.4.3.3  | Faserverstärkte Bauteile hergestellt im Sprühverfahren .....     | 923        |
| 7.4.4    | Herstellung von PUR-Kühlmöbeln.....                              | 924        |