

Inhalt

| | |
|--|----|
| Vorwort | V |
| 1 Einschneckenextruder | 1 |
| <i>Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner</i> | |
| 1.1 Allgemeines | 3 |
| 1.2 Feststoffförderung | 9 |
| 1.3 Aufschmelzen | 15 |
| 1.4 Schmelzeförderung | 17 |
| 1.5 Mischen | 20 |
| 1.6 Entgasungsextruder | 21 |
| 1.7 Betriebsverhalten | 22 |
| 1.8 Bauarten von Extrudern und ihre Betriebskennlinien | 22 |
| 1.8.1 Glattrohreextruder | 23 |
| 1.8.2 Nutbuchsensextruder | 24 |
| 1.8.2.1 Entgasungsextruder | 26 |
| 1.8.3 Schmelzeextruder | 27 |
| 1.8.3.1 Schnelllaufende Schmelzeextruder | 28 |
| 1.9 Baureihen | 29 |
| 1.10 Extrusionsmaschinenbau | 33 |
| 1.10.1 Zylinderbaugruppe | 33 |
| 1.10.2 Schnecke | 34 |
| 1.10.3 Antriebsstrang | 34 |
| 1.10.4 Gestell | 35 |
| 1.10.5 Sensorik, Steuerung und Regelung | 36 |
| 1.11 Extrusionssysteme | 37 |
| 1.11.1 Zusammenschaltung mit Filtern und Pumpen | 37 |
| 1.11.2 Coextruder in Mehrkomponentenanlagen | 38 |
| Literatur zu Kapitel 1 | 39 |

| | |
|--|-----|
| 2 Mehrschneckenextruder | 41 |
| 2.1 Der gegenläufige Doppelschneckenextruder | 41 |
| <i>Dr.-Ing. Gordon Fattmann</i> | |
| 2.1.1 Einleitung | 41 |
| 2.1.2 Bauformen | 42 |
| 2.1.3 Aufbau | 43 |
| 2.1.3.1 Grundrahmen | 44 |
| 2.1.3.2 Antrieb/Getriebe | 44 |
| 2.1.3.3 Materialzuführung | 45 |
| 2.1.3.4 Zylinder und Schneckenpaar | 46 |
| 2.1.4 Verfahrenstechnik | 48 |
| 2.1.4.1 Grundlagen der Schneckengestaltung | 48 |
| 2.1.4.2 Funktionsweise von gegenläufigen Doppelschnecken ... | 49 |
| 2.1.5 Die Verfahrenseinheit | 52 |
| 2.1.5.1 Aufbau der Verfahrenseinheit | 52 |
| 2.1.5.2 Aufgaben der Verfahrenszonen | 52 |
| 2.1.5.3 Auslegung der Schnecken | 59 |
| 2.1.5.4 Anpassen von Schneckengeometrien | 64 |
| 2.1.6 Verschleiß | 66 |
| 2.1.7 Entwicklungsgeschichte | 67 |
| Literatur zu Abschnitt 2.1 | 69 |
| 2.2 Der gleichläufige Doppelschneckenextruder | 70 |
| <i>Dr.-Ing. Peter Heidemeyer</i> | |
| 2.2.1 Einleitung | 70 |
| 2.2.2 Historische Entwicklung der Gleichdrall-Doppelschnecken | 71 |
| 2.2.3 Funktionsprinzip und beschreibende Kenngrößen | 73 |
| 2.2.4 Auslegungsgrundlagen | 77 |
| 2.2.4.1 Schneckenelemente | 77 |
| 2.2.4.2 Verfahrenstechnische Auslegung | 83 |
| 2.2.4.3 Vom Labor in die Produktion: Hochrechnung | 92 |
| 2.2.5 Antriebstechnik | 93 |
| 2.2.5.1 Hauptantrieb | 93 |
| 2.2.5.2 Sicherheitskupplung | 96 |
| 2.2.5.3 Getriebe | 97 |
| 2.2.6 Verschleißschutz | 97 |
| 2.2.7 Prozessbeispiele | 101 |
| 2.2.7.1 Direktverarbeitung von ungetrocknetem PET | 101 |
| 2.2.7.2 Herstellung von mit Glasfasern verstärktem Polyamid .. | 102 |
| 2.2.7.3 Herstellung von mit Kreide oder Talkum hochgefüllten Polypropylen | 102 |

| | | |
|----------------------------------|---|------------|
| 2.2.7.4 | Masterbatchherstellung aus der Vormischung | 103 |
| 2.2.7.5 | Herstellung eines Farbmasterbatches | 104 |
| 2.2.7.6 | Einarbeitung von Naturfasern in Polypropylen | 105 |
| 2.2.7.7 | Inline- Compoundierung von Platten | 106 |
| Literatur zu Abschnitt 2.2 | | 107 |
| 3 | Extrusionswerkzeuge | 109 |
| 3.1 | Breitschlitzwerkzeuge | 109 |
| | <i>Dr.-Ing. Carl-Jürgen Wefelmeier</i> | |
| 3.1.1 | Einleitung | 109 |
| 3.1.2 | Grundsätzlicher Aufbau von Breitschlitzwerkzeugen | 110 |
| 3.1.3 | Beeinflussung des Schmelzefflusses in Breitschlitzwerkzeugen .. | 113 |
| 3.1.3.1 | Flexible Lippe bzw. Flexlip | 113 |
| 3.1.3.2 | Staubalken | 115 |
| 3.1.4 | Ausführung der Unterlippe | 116 |
| 3.1.5 | Deckling | 118 |
| 3.1.5.1 | Externes Deckling | 118 |
| 3.1.5.2 | Internes Deckling | 120 |
| 3.1.6 | Äußere Geometrie des Breitschlitzwerkzeugs | 122 |
| 3.1.7 | Heizung und Isolierung | 123 |
| 3.1.8 | Beschichtung und Oberflächenqualität | 124 |
| 3.1.9 | Einlaufkanalgeometrie | 125 |
| 3.1.10 | Coextrusionswerkzeuge | 125 |
| 3.1.10.1 | Adapterwerkzeuge | 125 |
| 3.1.10.2 | Mehrkanalwerkzeuge | 130 |
| Literatur zu Abschnitt 3.1 | | 131 |
| 3.2 | Ringspaltwerkzeuge | 131 |
| | <i>Dr.-Ing. Stefan Seibel</i> | |
| 3.2.1 | Dornhalterwerkzeuge | 133 |
| 3.2.2 | Siebkorbwerkzeuge | 134 |
| 3.2.3 | Wendelverteilerwerkzeuge | 135 |
| 3.2.4 | Pinolenwerkzeuge | 137 |
| Literatur zu Abschnitt 3.2 | | 138 |
| 4 | Rohrextrusion | 141 |
| | <i>Dr.-Ing. Henning Stieglitz</i> | |
| 4.1 | Einleitung | 141 |
| 4.2 | Materialien | 144 |
| 4.2.1 | Polyvinylchlorid (PVC) | 144 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.2.2 | Polyolefine | 145 |
| 4.2.2.1 | Polyethylen (PE) | 145 |
| 4.2.2.2 | Polypropylen (PP) | 147 |
| 4.2.2.3 | Vernetztes Polyethylen | 147 |
| 4.2.2.4 | Weitere Rohrwerkstoffe | 148 |
| 4.3 | Rohrtypen | 148 |
| 4.3.1 | Einschichtige Rohre | 149 |
| 4.3.2 | Mehrschichtige Rohre | 149 |
| 4.3.3 | Schaumkernrohre | 150 |
| 4.3.4 | Rohre mit Regeneratschicht | 150 |
| 4.3.5 | Rohre mit Funktionsschichten | 150 |
| 4.3.6 | Metall-Kunststoff-Verbundrohre | 151 |
| 4.3.7 | Faserverstärkte Rohre | 151 |
| 4.3.8 | Großrohre | 152 |
| 4.3.9 | Wellrohre | 153 |
| 4.3.10 | Wickelrohre | 153 |
| 4.3.11 | Ummantelte Stahlrohre | 153 |
| 4.3.12 | Bewässerungsrohre | 154 |
| 4.4 | Herstellverfahren | 154 |
| 4.4.1 | Materialbeschickung | 155 |
| 4.4.1.1 | Materialbeschickung für Einschneckenextruder | 155 |
| 4.4.1.2 | Materialbeschickung für Doppelschneckenextruder | 156 |
| 4.4.2 | Extruder | 156 |
| 4.4.3 | Werkzeug | 157 |
| 4.4.4 | Kalibrieren und Abkühlen | 159 |
| 4.4.4.1 | Vakuum-Tankkalibrierung | 160 |
| 4.4.4.2 | Überdruckkalibrierung | 164 |
| 4.4.5 | Kühlstrecke | 164 |
| 4.4.6 | Rohrrinnenkühlung | 166 |
| 4.4.7 | Abzug | 167 |
| 4.4.8 | Trenneinheit | 168 |
| 4.4.9 | Ablegeeinheit | 170 |
| 4.4.10 | Mess-, Steuer-, Regeleinrichtungen | 171 |
| 4.4.11 | Dimensionswechselsysteme | 175 |
| 4.4.12 | Ausblick | 177 |
| | Literatur zu Kapitel 4 | 177 |
| 5 | Profilextrusion | 179 |
| | <i>Dr.-Ing. Stefan Seibel</i> | |
| 5.1 | Einleitung | 179 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2 | PVC-U und Mischen von PVC-Rezepturen | 185 |
| 5.2.1 | PVC-U (unplastiziertes PVC oder Hart PVC) | 185 |
| 5.2.2 | Mischen von PVC-Rezepturen | 186 |
| 5.3 | Extruder | 186 |
| 5.4 | Werkzeuge für die Profilextrusion | 190 |
| 5.4.1 | Prinzipieller Aufbau | 190 |
| 5.4.2 | Bauarten von Profilwerkzeugen | 192 |
| 5.4.3 | Anforderungen an den Werkzeughersteller und Stand der Technik | 194 |
| 5.4.4 | Schnellwechselsystem | 196 |
| 5.4.5 | Kundenspezifische Lösungen | 197 |
| 5.4.6 | Werkzeugauslegung und Wissenschaft im Werkzeugbau | 198 |
| 5.4.7 | Anforderungen an Berechnungswerkzeuge im Alltag | 199 |
| 5.5 | Kalibrierwerkzeug | 199 |
| 5.6 | Kühlung | 200 |
| 5.6.1 | Optimierung von Kühlparametern in der Profilextrusion | 201 |
| 5.6.2 | Kühlleistung | 205 |
| 5.7 | Sonstiges | 206 |
| 5.7.1 | Nachfolge, Steuerung | 206 |
| 5.7.2 | Oberflächenkontrolle in der Profilextrusion | 207 |
| 5.7.3 | Geräuschemission | 208 |
| 5.8 | Marktentwicklung | 208 |
| | Literatur zu Kapitel 5 | 209 |
| 6 | Flachfolien- und Plattenextrusion | 211 |
| | <i>Dr.-Ing. Carl-Jürgen Wefelmeier</i> | |
| 6.1 | Einleitung | 211 |
| 6.2 | Anlagentechnik | 212 |
| 6.2.1 | Maschinentechnik zur Herstellung von Flachfolien | 212 |
| 6.2.1.1 | Beispiel einer Extrusionslinie zur Herstellung geglätteter Flachfolien | 213 |
| 6.2.1.2 | Beispiele für Extrusionslinien zur Herstellung von Platten | 221 |
| 6.3 | Anlagenkomponenten für Folien- und Plattenanlagen | 234 |
| 6.3.1 | Siebwechsler | 235 |
| 6.3.2 | Schmelzepumpen | 240 |
| 6.3.2.1 | Aufbau von Schmelzepumpen | 240 |
| 6.3.2.2 | Funktionsweise und Ausführungen von Schmelzepumpen | 241 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 6.3.2.3 | Prozesseigenschaften von Schmelzepumpen | 243 |
| 6.3.3 | Walzen | 244 |
| 6.3.4 | Wickler | 248 |
| 6.4 | Verfahrenstechnik in Folien- und Plattenextrusionslinien | 251 |
| 6.4.1 | Verfahrenstechnik – Peripherie | 252 |
| 6.4.2 | Verfahrenstechnik – Extrusion | 253 |
| 6.4.3 | Verfahrenstechnik – Nachfolge | 258 |
| 6.4.3.1 | Verfahrenstechnik – Glättwerk und Nachkühlstrecke ... | 258 |
| 6.4.3.2 | Simulation des Temperaturverlaufs | 262 |
| 6.4.3.3 | Verfahrenstechnik – Schneiden und Wickeln bzw. Stapeln | 267 |
| | Literatur zu Kapitel 6 | 269 |
| 7 | Gießfolienextrusion | 271 |
| | <i>Dr.-Ing. Torsten Schmitz</i> | |
| 7.1 | Einleitung | 271 |
| 7.2 | Anlagen- und Verfahrenstechnik zur Herstellung von Gießfolien | 271 |
| 7.2.1 | Materialzuführung und Dosierung | 272 |
| 7.2.2 | Extrudertechnik und Schneckenauslegung | 273 |
| 7.2.3 | Coextrusionsadapter, Foliendüse und Schmelzebahn | 273 |
| 7.2.4 | Gießwalzeneinheit | 275 |
| 7.2.5 | Peripherie, Materialrückführung und Wicklung | 276 |
| 7.2.6 | Anlagensteuerung und Automation | 276 |
| 7.3 | Eigenschaften, Anwendungen und Einsatzgebiete von Gießfolien | 277 |
| 7.3.1 | Polypropylen-Gießfolie | 277 |
| 7.3.2 | Stretchfolie | 277 |
| 7.3.3 | Barrierefolie | 278 |
| | Literatur zu Kapitel 7 | 278 |
| 8 | Blasfolienextrusion | 283 |
| | <i>Martin Backmann, Dr.-Ing. Ingo Rübbelke</i> | |
| 8.1 | Einleitung | 283 |
| 8.2 | Granulatversorgung | 285 |
| 8.3 | Extruder für die Blasfolienextrusion | 287 |
| 8.4 | Werkzeugtechnik zur Blasfolienherstellung | 289 |
| 8.4.1 | Werkzeugkonzepte zur Herstellung von Mehrschichtfolien | 294 |
| 8.4.2 | Aufbau- und Funktionsmerkmale einer mehrschichtigen Blasfolie | 296 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.5 | Abkühl- und Kalibriereinheit | 301 |
| 8.6 | Nachfolge | 305 |
| 8.6.1 | Dickenmesssysteme | 305 |
| 8.6.2 | Reversierende Abzugseinheit | 306 |
| 8.6.3 | Vorbehandlung | 308 |
| 8.6.4 | Wickler | 309 |
| 8.7 | Mess- und Regelkonzepte für die Blasfolienextrusion | 312 |
| | Literatur zu Kapitel 8 | 314 |
| 9 | Berechnung von Extrusionswerkzeugen | 317 |
| | <i>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Bianka Henke, Prof. Dr.-Ing. Andreas Limper,</i> | |
| | <i>Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner</i> | |
| 9.1 | Einführung | 317 |
| 9.1.1 | Zielgrößen | 318 |
| 9.1.2 | Einflussgrößen | 319 |
| 9.2 | Analytische Berechnungsmethoden | 319 |
| 9.2.1 | Berechnung der Temperaturerhöhung in der Schmelze | 320 |
| 9.2.2 | Berechnung der Temperierleistung | 321 |
| 9.2.3 | Berechnung des Druckverlustes von einfachen Querschnitten ... | 321 |
| 9.2.4 | Berechnung der Schmelzeverteilung am Beispiel Breitschlitzdüse | 326 |
| 9.3 | Einfache numerische Berechnungsmethoden | 332 |
| 9.3.1 | Netzwerktheorie | 333 |
| 9.3.2 | Berechnung von Kleiderbügeldüsen | 335 |
| 9.3.3 | Nicht-Newton'sches Fließen, repräsentative Schergeschwindigkeit | 340 |
| 9.3.4 | Fazit | 343 |
| 9.4 | Ganzheitliche numerische Berechnungsmethoden | 343 |
| 9.4.1 | CFD (Computational Fluid Dynamics) | 344 |
| 9.4.2 | Materialgesetze | 347 |
| 9.4.3 | Fazit | 349 |
| 9.5 | Strangaufweitung | 349 |
| 9.6 | Ausblick: Aktuelle Forschungsthemen | 351 |
| | Literatur zu Kapitel 9 | 352 |
| 10 | Thermische Berechnungen | 353 |
| | <i>Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner</i> | |
| 10.1 | Bestimmung des Temperaturverlaufs | 353 |
| 10.2 | Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten | 360 |
| 10.2.1 | Konvektive Kühlung an der Luft | 360 |

| | |
|---|------------|
| 10.2.2 Konvektive Kühlung in Wasser | 362 |
| 10.2.3 Kontaktkühlung an Kühlwalzen und Galetten | 364 |
| 10.2.4 Strahlungserwärmung | 367 |
| 10.3 Modelltheoretische Umsetzung | 367 |
| 10.4 Abkühlung von Profilen | 370 |
| Literatur zu Kapitel 10 | 371 |
| 11 Dosiergeräte für Extrusionsanlagen | 373 |
| <i>Thomas Kaupel</i> | |
| 11.1 Einleitung | 373 |
| 11.2 Allgemeine Betrachtung zu Dosiergeräten | 374 |
| 11.2.1 Vorteile der Materialaufbereitung mit Dosier- und Mischgeräten | 374 |
| 11.2.2 Dosieraufgabe, prinzipieller Aufbau von Dosiergeräten, Dosierorgane | 375 |
| 11.2.3 Prinzipieller Aufbau einer Dosieranlage | 376 |
| 11.3 Volumetrische Dosiergeräte | 378 |
| 11.3.1 Verfahrenstechnische Grundlagen | 378 |
| 11.3.2 Beispiele volumetrischer Dosiergeräte | 382 |
| 11.3.2.1 Geräte mit digital-volumetrischer Arbeitsweise | 382 |
| 11.3.2.2 Gerätevariante mit Dosierung aller Komponenten | 382 |
| 11.3.2.3 Synchrondosiergeräte | 384 |
| 11.3.2.4 Volumetrisches Synchrondosiergerät mit Dosierung aller Komponenten | 385 |
| 11.3.2.5 Volumetrisches Synchrondosiergerät mit freiem Einlauf der Hauptkomponente | 386 |
| 11.4 Gravimetrische Dosiergeräte | 388 |
| 11.4.1 Diskontinuierliche Wägedosierung | 388 |
| 11.4.1.1 Prinzipieller Aufbau eines gravimetrischen Chargendosiersystems | 389 |
| 11.4.1.2 Beschreibung des Dosiervfahrens und der Korrekturmechanismen am Beispiel des gravimetrischen Chargendosiergerätes vom Typ Ultrablend | 390 |
| 11.4.2 Kontinuierliche gravimetrische Dosierung | 391 |
| 11.4.2.1 Die Differentialdosierwaage | 391 |
| 11.4.2.2 Die Trichterwaage | 396 |
| 11.5 Zusammenfassung der Eigenschaften volumetrischer und gravimetrischer Dosiersysteme | 399 |
| Literatur zu Kapitel 11 | 401 |
| Index | 403 |