Schwarz / Ebeling / Furth / Heuzeroth

KUNSTSTOFF-VERARBEITUNG



Ein Fachbuch von

MM MaschinenMarkt · PLASTNOW · PROCESS Chemie · Pharma · Verfahrenstechnik

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

Schwarz/Ebeling/Furth/Heuzeroth

Kunststoffverarbeitung

Otto Schwarz/Friedrich-Wolfhard Ebeling/
Brigitte Furth/Irena Heuzeroth

Kunststoffverarbeitung

12. überarbeitete Auflage

VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

Dr.-Ing. Otto Schwarz (gestorben 1997), Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg
Dipl.-Ing (FH) Friedrich Wolfhard Ebeling (gestorben 2010), Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg
Dipl.-Ing (FH) Brigitte Furth, Kitzingen
B. Eng. Irena Heuzeroth, SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Weitere Informationen:
www.vogel-professional-education.de

ISBN 978-3-8343-3556-2
ISBN E-Book 978-3-8343-6337-4
12. Auflage. 2027
Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in
§§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.
Lektorat: Ulrike Klein, Berlin
Umschlagsbild: 2K-gedrucktes Bauteil im TripleF Mini (Eigenbau des SKZ). SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg
Druck: CPI books GmbH
Copyright 2012, 2026 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg

Geleitwort

Dr. Benjamin Baudrit
Geschäftsführer der Bildung und Forschung am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum

Die Kunststoffverarbeitung befindet sich in einem stetigen Wandel. Neue bzw. modifizierte Werkstoffe, innovative Verfahren und zunehmend digitale Produktionsansätze prägen die industrielle Praxis und eröffnen vielfältige neue Anwendungsmöglichkeiten. Gleichzeitig steigen die Anforderungen der Verarbeiter, um Qualität, Effizienz und Nachhaltigkeit unter einen Hut zu bringen. Um diesen Herausforderungen wirkungsvoll zu begegnen, ist aktuelles, praxisnah aufbereitetes Fachwissen eine wesentliche Voraussetzung.

Das vorliegende Fachbuch zur Kunststoffverarbeitung leistet hierzu (und bereits seit vielen Jahren) einen wichtigen Beitrag in der Aus- und Weiterbildung des Fachpersonals. Umso mehr freut es uns als SKZ, diese neue Auflage inhaltlich unterstützen und erweitern zu dürfen. Die Ergänzung dieses Buches um ein eigenes Kapitel zur additiven Fertigung sowie die Bereitstellung ausgewählter Grafiken haben u.a. dazu beigetragen, den Zugang zu neuen Fertigungstechnologien zu erleichtern und komplexe Zusammenhänge anschaulich darzustellen.

Dies ist auch der primäre Zweck des SKZ: Neue Technologien verständlich aufbereiten und deren Anwendungskompetenz in der Praxis erfolgreich fördern. Die klare Struktur, der hohe Praxisbezug und die verständliche Visualisierung machen dieses Buch zu einem wertvollen Begleiter für Ausbildung, Weiterbildung und betriebliche Praxis in der Kunststoffverarbeitung.

Wir bedanken uns bei den Autorinnen und Autoren und beim Verlag für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und wünschen den Leserinnen und Lesern viel Spaß und Erkenntnisgewinn bei der Anwendung dieses Fachbuches.

Vorwort

Die Kunststoffindustrie ist ein zentraler Bestandteil unserer Wirtschaft. Sie trägt durch innovative Werkstoffe und Verarbeitungstechniken zu effizienten Anwendungen für Alltag, Technik und Infrastruktur bei. Gleichzeitig treibt sie Innovationen in Richtung Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit voran und bleibt damit bedeutender Motor für unsere Zukunft. Damit diese Innovationskraft erhalten bleibt, ist die Aus- und Weiterbildung von Nachwuchskräften unverzichtbar.

Dieses Fachbuch richtet sich nicht nur an Studierende, sondern vor allem auch an Industriemeister, Techniker und Handwerker, die sich Fachwissen auf dem Gebiet der Kunststoffverarbeitung aneignen möchten.

In diesem Buch werden die grundsätzlichen Verfahrensabläufe für die verschiedenen Fertigungstechniken der Kunststoffe vorgestellt, ohne die komplette Verarbeitungskette vom Rohstoff bis zum Fertigteil zu beschreiben.

Aufgrund der rasanten Weiterentwicklung in den letzten Jahren wurde in dieser Auflage als neues Herstellverfahren die Additive Fertigung von Kunststoffteilen aufgenommen.

Das Kapitel Spritzgießen wurde umfassend überarbeitet und enthält neben einer ausführlichen Verfahrensbeschreibung nützliche Hinweise für Formteilgestaltung und Werkzeugauslegung.

Die Abhandlungen der einzelnen Verfahren sind praxisbezogen, übersichtlich und enthalten zahlreiche Abbildungen mit farblichen Hervorhebungen der wichtigen Details zur Unterstützung des Verständnisses. Auf umfangreiche theoretische Ausführungen wurde bewusst zugunsten der praxisrelevanten Inhalte verzichtet.

Wir danken der Vogel Communications Group für die gute Zusammenarbeit.

Kitzingen, im Juni 2026 Brigitte Furth

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort **5**
Vorwort **6**

1 Einführung in die Kunststofftechnologie **11**
1.1 Einteilung der Kunststoffe 12
1.2 Temperaturverhalten und Verarbeitung der Kunststoffe 14
1.3 Kennwerte für die Verarbeitung 14

2 Aufbereitung **17**
2.1 Allgemeines 18
2.2 Zerkleinern 19
2.3 Mischen 21
2.4 Plastifizieren 23
2.5 Granulieren 26
2.6 Lagerung, Trocknung und Transport 27

3 Kalandrieren **31**
3.1 Allgemeines 32
3.2 Kunststoffformmassen zum Kalandrieren 32
3.3 Aufbau des Kalanders 33
3.4 Aufbau der Kalanderstraße und Verfahrenstechnik 34
3.5 Nachbehandlung kalandrierter Folien 39

4 Beschichten von Trägerbahnen **41**
4.1 Allgemeines 42
4.2 Trägerstoffe und ihre Vorbehandlung 42
4.3 Beschichtungsmassen 43
4.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen 44
4.5 Arbeitsablauf bei der PVC-Beschichtung 50
4.6 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen 52

5 Extrudieren **53**
5.1 Allgemeines 54
5.2 Extrudierbare Kunststoffformmassen 54
5.3 Aufbau des Extruders 56
5.4 Verfahrenstechnische Vorgänge im Extruder 62
5.5 Extruderwerkzeuge 67
5.6 Nachfolgeeinrichtungen 75
5.7 Extruderanlagen 79
5.8 Produktionstechnik 92

6 Extrusionsblasformen **99**
6.1 Allgemeines 100
6.2 Werkzeuge zur Herstellung der Vorformlinge 101

6.3 Blasstation ... 105
6.4 Blaswerkzeuge ... 107
6.5 Hohlkörper-Blasformmaschinen ... 110
6.6 Extrusionsstreckblasen ... 113

7 Gießen von Folien ... 115

8 Spritzgießen ... 117
8.1 Allgemeines ... 118
8.2 Formmassen ... 118
8.3 Spritzgießmaschinen ... 118
8.4 Spritzgießwerkzeuge ... 130
8.5 Formteilgestaltung ... 147
8.6 Verfahrenstechnik beim Spritzgießen ... 163
8.7 Spritzblasen ... 173
8.8 Thermoplastschaumguss ... 175
8.9 Gasinnendruckverfahren (GID) ... 179
8.10 Sandwich-Spritzgießen ... 182
8.11 Mehrkomponenten-Spritzgießen ... 184

9 Pressen ... 187
9.1 Allgemeines ... 188
9.2 Definitionen ... 188
9.3 Formmassen – Lieferformen, Typisierung und Aufbereitung ... 188
9.4 Vorbehandlung der aufbereiteten Formmasse ... 190
9.5 Pressen ... 192
9.6 SMC-Verfahren ... 196
9.7 Spritzpressen ... 197
9.8 Entgraten ... 198
9.9 Schichtpressen ... 198
9.10 Pressen von Thermoplasten ... 200

10 Schäumen ... 201
10.1 Allgemeines ... 202
10.2 Herstellen der Schaumstoffe ... 203
10.3 Übersicht über Schäumverfahren ... 205
10.4 Schaumstoffe mit gleichmäßiger Dichteverteilung ... 206
10.5 Integralschaumstoffe ... 213

11 Verarbeitung faserverstärkter Kunststoffe ... 219
11.1 Allgemeines ... 220
11.2 Werkstoffkomponenten für FVW ... 220
11.3 Härtung der Reaktionsharze ... 224
11.4 Verarbeitung faserverstärkter Reaktionsharze ... 227
11.5 Nachbearbeiten von GFK-Teilen ... 237

12 Gießen von Reaktionsharzen 241

13 Rotationsformen 243
13.1 Allgemeines 244
13.2 Formmassen 244
13.3 Rotationsanlagen 245
13.4 Rotationswerkzeuge 246
13.5 Herstellen von Formteilen 250
13.6 Verarbeitungsfehler 251

14 Pulverbeschichten 255
14.1 Allgemeines 256
14.2 Wirbelsintern 256
14.3 Flammspritzen 257
14.4 Elektrostatisches Beschichten 258

15 Verarbeiten von Kautschuken 259
15.1 Allgemeines 260
15.2 Werkstoffe 260
15.3 Herstellen der Formmassen 261
15.4 Kalandrieren 263
15.5 Extrudieren 263
15.6 Pressen 265
15.7 Spritzgießen 267
15.8 Handkonfektionieren 267

16 Warmformen 269
16.1 Allgemeines 270
16.2 Zustandsbereiche der Thermoplaste 270
16.3 Umformverfahren 273
16.4 Vorbereiten des Halbzeugs 277
16.5 Erwärmen des Halbzeugs 277
16.6 Umformwerkzeuge und -maschinen 278
16.7 Nachbearbeitung 279
16.8 Kaltumformen 280

17 Additive Fertigung 281
17.1 Allgemeines 282
17.2 Einteilung der Additiven Fertigungsverfahren 282
17.3 Materialien in der Additiven Fertigung 283
17.4 Extrusionsbasierte Verfahren 284
17.5 Harzbasierte Verfahren 287
17.6 Pulverbettbasierte Verfahren 289
17.7 Datenformate 293
17.8 G-Code in der Additiven Fertigung 294

18 Schweißen ... 295
18.1 Allgemeines ... 296
18.2 Einteilung der Kunststoffschweißverfahren ... 297
18.3 Heizelementschweißen ... 298
18.4 Warmgasschweißen ... 301
18.5 Reibschweißen ... 306
18.6 Hochfrequenzschweißen ... 307
18.7 Ultraschallschweißen ... 310
18.8 Infrarotschweißen ... 312
18.9 Laserschweißen ... 313

19 Kleben ... 315
19.1 Allgemeines ... 316
19.2 Kunststoff-Fügeteile ... 316
19.3 Klebstoffe ... 318
19.4 Abbindemechanismen ... 319
19.5 Technologie des Klebens ... 320
19.6 Klebtechnik ... 323

20 Mechanische Verbindungen bei Kunststoffen ... 325
20.1 Allgemeines ... 326
20.2 Nietverbindungen ... 326
20.3 Schraubverbindungen ... 327
20.4 Schnappverbindungen ... 328
20.5 Weitere mechanische Verbindungen ... 329

21 Spanende Bearbeitung ... 331
21.1 Allgemeines ... 332
21.2 Spanbedingungen und Spanwerkzeuge ... 332
21.3 Spanmöglichkeiten ... 333

22 Veredeln von Kunststoffen ... 339
22.1 Allgemeines ... 340
22.2 Polieren ... 340
22.3 Metallisieren ... 341
22.4 Beflocken ... 343
22.5 Bedrucken ... 344
22.6 Prägen ... 347
22.7 Laserbeschriften ... 347
22.8 Lackieren ... 348

Weiterführende Literatur ... 351
Autorenprofile ... 355
Stichwortverzeichnis ... 357

1 Einführung in die Kunststofftechnologie

Welche Arten von Kunststoffen gibt es?
Wie können Kunststoffe verarbeitet werden?
Welche Kennwerte sind für die Beurteilung der Verarbeitungseigenschaften wichtig?

1.1 Einteilung der Kunststoffe

Kunststoffe sind erst seit ungefähr 130 Jahren bekannt und damit die jüngste Werkstoffgruppe. Sie haben sich in vielen Bereichen der Technik, des Bauwesens und des täglichen Lebens einen festen Platz neben den herkömmlichen Werkstoffen wie Metall, Holz und Keramik gesichert. Auf die Frage «Was sind Kunststoffe?» wird hier eine Antwort gegeben.

Definition

Kunststoffe sind künstlich hergestellte Werkstoffe, die mit chemischen Verfahren, entweder durch Umwandlung von Naturstoffen oder, in der Mehrzahl aus niedermolekularen Stoffen, «synthetisch» aufgebaut werden. Kunststoffe bestehen aus sehr großen organischen Molekülverbindungen **(Makromolekülen)**.

Die Herstellung der Kunststoffe erfolgt über chemische Reaktionen. Dabei geht man von kleinen bi- oder mehrfunktionellen Molekülverbindungen aus, die durch die drei Polyreaktionen

- **Polymerisation,**
- **Polykondensation,**
- **Polyaddition**

miteinander verknüpft werden. Je nach eingesetzten Ausgangsstoffen erhält man kettenartig oder vernetzt aufgebaute Makromoleküle.

Die erhaltenen Molekülstrukturen sowie das unterschiedliche Temperaturverhalten sind maßgebend für die Einteilung der Kunststoffe in Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere.

Definition

Thermoplaste sind aus sehr langen Molekülketten aufgebaut, die von zwischenmolekularen Kräften im festen Verbund zusammengehalten werden.
Duroplaste bestehen aus einem makromolekular aufgebauten Raumnetzmolekül mit engmaschiger Verknüpfung über chemische Bindungskräfte.
Elastomere sind kettenförmige Makromoleküle, die durch wenige chemische Vernetzungsbrücken zu einem weitmaschigen Raumnetzmolekül miteinander verbunden sind.

Tabelle 1.1: *Zustandsverarbeitungsschema für amorphe Thermoplaste*

Zustandsform	Molekulare Struktur	Verarbeitung
• fest • glasartig spröde	• ineinander verknäulte Makromoleküle • zwischenmolekulare Bindungskräfte groß	• spanendes und spanloses Trennen • lösbares und unlösbares Fügen (Kleben) • Oberflächenveredlung
• thermoelastisch • gummielastische Dehnung	• noch weitgehend verknäulte Makromoleküle • zunehmende Beweglichkeit der Molekülketten	Umformen: • Biegeumformen • Druckumformen • Zugumformen • Zugdruckumformen

Tabelle 1.1: *Zustandsverarbeitungsschema für amorphe Thermoplaste – Fortsetzung*

Zustandsform	Molekulare Struktur	Verarbeitung
• thermoplastisch • zähviskoses Fließen	• Makromoleküle gegeneinander verschiebbar • zwischenmolekulare Bindungskräfte weitgehend aufgehoben	Urformen: • Spritzgießen • Extrudieren • Pressen • Schäumen • Kalandrieren • Rotationsformen usw. • unlösbares Fügen (Schweißen)
• Zersetzung	• molekularer Abbau des Thermoplasten	

Tabelle 1.2: *Zustandsverarbeitungsschema für teilkristalline Thermoplaste*

Zustandsform	Molekulare Struktur	Verarbeitung
• fest • glasartig spröde	• amorphe und kristalline Bereiche fest • zwischenmolekolare Bindungskräfte groß	• in diesem Bereich nicht üblich
• fest bis zähelastisch	• amorphe Bereiche zunehmend beweglich • kristalline Bereiche noch fest • zwischenmolekulare Bindungskräfte in kristallinen Bereichen groß	• spanendes und spanloses Trennen • lösbares und unlösbares Fügen (Kleben) • Oberflächenveredlung
• thermoelastisch	• kristalline Bereiche zunehmend gelöst	Umformen: • Biegeumformen • Druckumformen • Zugumformen • Zugdruckumformen
• thermoplastisch	• Makromoleküle gegeneinander verschiebbar • zwischenmolekulare Bindungskräfte weitgehend aufgehoben	Umformen: • Spritzgießen • Extrudieren • Pressen • Schäumen • Kalandrieren • Rotationsformen usw. • unlösbares Fügen (Schweißen)
• Zersetzung	• molekularer Abbau des Thermoplasten	Urformen: • Spritzgießen • Extrudieren usw. • unlösbares Fügen (Schweißen)

Tabelle 1.3: *Zustandsverarbeitungsschema für Duroplaste*

Zustandsform	Molekulare Struktur	Verarbeitung
• fest • glasartig spröde	• vernetzte Makromoleküle	• spanendes und spanloses Trennen • lösbares und unlösbares Fügen • Oberflächenveredelung
• Zersetzung	• molekularer Abbau des Duroplasten	

Tabelle 1.4: *Zustandsverarbeitungsschema für Elastomere*

Zustandsform	Molekulare Struktur	Verarbeitung
• fest • hart bis zähelastisch	• weitmaschig vernetzte Makromoleküle	• in diesem Bereich nicht üblich • eventuell Zerkleiner durch Mahlen
• gummielastisch	• weitmaschig vernetzte Makromoleküle	• spanendes und spanloses Trennen • lösbares und ulösbares Fügen • Oberflächenveredelung
• Zersetzung	• molekularer Abbau	

Es wird bei den Thermoplasten weiterhin zwischen den **amorphen** und **teilkristallinen Thermoplaste** (Tabellen 1.1 und 1.2) unterschieden. Die Unterschiede sind im Ordnungszustand des Molekülverbandes begründet. Können durch die Molekülgestalt keine übergeordneten Ordnungssysteme aufgebaut werden, dann liegen die Molekülketten in einer idealen Unordnung vor. Diesen Zustand bezeichnet man als amorph.

Ordnungszustände durch Parallelbündelungen von Molekülabschnitten oder Faltungen von Molekülketten (Sphärolithe) bezeichnet man als Kristallite. In einem teilkristallinen Thermoplast können die Kettenmoleküle teilweise den kristallinen sowie den amorphen Bereich durchlaufen, aber auch gleichzeitig mehreren Kristalliten angehören.

1.2 Temperaturverhalten und Verarbeitung der Kunststoffe

Werden Thermoplaste erwärmt bzw. wieder abgekühlt, so durchlaufen sie verschiedene Zustandsformen mit Übergangsbereichen. Zwischen den amorphen und teilkristallinen Thermoplasten bestehen in den verschiedenen Zustandsformen Unterschiede in den technologischen Eigenschaften. Duroplaste und Elastomere sind nur während der ersten Verarbeitung plastisch verformbar, danach ist durch Wärmeeinwirkung keine Zustandsänderung mehr möglich, es sei denn, sie werden oberhalb der Zersetzungstemperatur chemisch abgebaut (Tabellen 1.3 und 1.4).

Welcher Zusammenhang zwischen den Zustandsformen und der Verarbeitbarkeit besteht, sollen die Auflistungen (Tabellen 1.1 bis 1.4) der einzelnen Kunststoffgruppen aufzeigen.

1.3 Kennwerte für die Verarbeitung

Den Verarbeiter interessiert weniger die Synthese der Kunststoffe als vielmehr Kennwerte, die ihm Aufschluss geben über die Verarbeitbarkeit der thermoplastischen und härtbaren Formmassen. Sie ermöglichen den Vergleich der Eigenschaften untereinander und sind Hilfen bei der Wareneingangsprüfung, die bei der Herstellung von Qualitätserzeugnissen unerlässlich ist.

1.3.1 Molmasse und Polymerisationsgrad

Diese beiden Größen besitzen ihren Aussagewert insofern, weil mit steigender Größe die mechanischen Eigenschaften zunehmen und das Langzeitverhalten besser wird. Auch der Schmelzbereich bei den Thermoplasten und die chemische Beständigkeit bei den amorphen Thermoplasten nehmen zu. Schlechter hingegen wird das bei der Verarbeitung wichtige Fließverhalten der Polymere. Ein Polyethylen mit sehr hoher Molmasse z.B. kann durch Spritzgießen nicht mehr verarbeitet, sondern nur noch gepresst oder gesintert werden.

1.3.2 Schüttdichte, Stopfdichte, Füllfaktor

Verarbeitungsfähige Formmasse muss dosiert werden, wobei die **Rieselfähigkeit** entscheidet, ob eine Volumen- oder Gewichtsdosierung vorgenommen wird. Bei guter Rieselfähigkeit wählt man meist die Volumendosierung, während die Gewichtsdosierung ein genaueres Arbeiten erlaubt. Die **Schüttdichte** gibt die Kunststoffrohmasse in Gramm je cm^3 an. Wird die Masse dabei belastet, erhält man die **Stopfdichte.** Unter dem **Füllfaktor** (bei Duroplasten üblich) versteht man das Verhältnis der Rohdichte zur Schüttdichte der Formmasse. Die Messung dieser drei Kenngrößen erfolgt nach den Normen ISO 60, 61 und 171.

1.3.3 Fließverhalten der Kunststoffe

Kunststoffe zeigen durch ihren makromolekularen Aufbau ein anderes Fließverhalten als Flüssigkeiten, die aus niedermolekularen Verbindungen bestehen.

Unter Fließen versteht man das Abgleiten der Makromoleküle gegeneinander im plastischen Zustand.

Es würde den Rahmen dieses Kapitels sprengen, wenn das Fließverhalten ausführlich behandelt werden sollte. Erwähnt werden sollen nur einige praxisbezogene Prüfmethoden.

1.3.3.1 Fließverhalten der Thermoplaste

Schmelze-Massenfließrate (MFR)

Die Messung der Schmelze-Massenfließrate (MFR) ist nach ISO 1133 genormt und kann bei allen thermoplastischen Kunststoffen durchgeführt werden. Diese Prüfung eignet sich besonders zur Überprüfung beim Wareneingang, aber auch zur Kontrolle einer sachgemäßen Verarbeitung. Die Rohstoffhersteller geben hierzu Daten über die zulässige Toleranz der Schmelze-Massefließrate in Gramm pro 10 min an.

Spiraltest (Fließspirale)

Ebenfalls sehr praxisnah, aber auch nur betriebsintern zu verwenden ist der **Spiraltest** (auch bei Duroplasten). Auch hier gilt, je mehr Masse in einer bestimmten Zeit ausfließt, desto besser ist das Fließverhalten und desto kleiner ist die mittlere Molmasse. Dieser Vergleich ist aber nur dann zulässig, wenn Polymere mit gleichem chemischem Aufbau unter gleichen Bedingungen verarbeitet werden.

K-Wert und Viskositätszahl

Der **K-Wert** wird bei Polyvinylchlorid nach DIN EN ISO 1628 angegeben. Er ist ein Analogwert zur **Viskositätszahl,** die aus dem Fließverhalten der Lösung von PVC in einem Lösungsmittel

bestimmt wird. Aus der Viskositätszahl kann die mittlere Molmasse errechnet werden, aber auch der K-Wert, dem eine empirisch ermittelte Formel zugrunde liegt. K-Wert und Viskositätszahl sind in der Norm tabellarisch miteinander verglichen. Auch hier gilt: Je größer der K-Wert, desto größer die Molmasse.

1.3.3.2 Fließverhalten der Duroplaste

Duroplaste unterscheiden sich in ihrem Fließverhalten von den Thermoplasten. Bei der Vernetzung der Duroplaste laufen zwei Reaktionen gleichzeitig ab:

- Abnahme der Viskosität durch frei werdende Reaktionswärme
- Zunahme der Viskosität durch beginnende Vernetzung der Makromoleküle

Zur gleichzeitigen Messung beider Reaktionen gibt es leider kein geeignetes Prüfverfahren. Es ist also erforderlich, zwei ergänzende Messverfahren zu benutzen.

Knetertest
Beim **Knetertest** wird die Formmasse in einem beheizten Kneter plastifiziert und gehärtet. Dabei wird das benötigte Drehmoment des Antriebsmotors über der Zeit gemessen.

Bechertest
Dieser Test ist genormt nach DIN 53 465. In einer Presse wird ein Becher hergestellt und die benötigte Schließzeit ermittelt. Um ein Maß für die Härtungsgeschwindigkeit zu haben, wird in einem weiteren Testverfahren die Steifigkeit bei konstantem Druck gemessen.

Die hier genannten und nur kurz beschriebenen Kennwerte dienen zum Beurteilen der Qualität und Gleichmäßigkeit der Kunststoffrohstoffe. Sie werden von den Kunststofferzeugern ermittelt und auf Wunsch dem Verarbeiter und Anwender mitgeteilt.

2 Aufbereitung

Wie wird der Kunststoffrohstoff zu einer verarbeitbaren Kunststoffmasse aufbereitet?

Welche Zusatzstoffe werden zur Aufbereitung zugemischt?

Welche Zerkleinerungsgeräte sind für welche Kunststoffmassen geeignet?

Welche Geräte gibt es für das Mischen von Kunststoffen?

Welche Knet- und Schneckenanlagen werden zum Plastifizieren eingesetzt?

Was ist beim Heiß- und Kaltgranulieren zu beachten?

Welche technischen Anforderungen müssen bei Lagerung, Trocknung und Transport von Kunststoffen beachtet werden?

2.1 Allgemeines

Definition

Unter dem Begriff **Aufbereitung** werden in der Kunststofftechnik diejenigen Verfahrensschritte zusammengefasst, die notwendig sind, um aus dem Kunststoffrohstoff eine verarbeitbare Kunststoffformmasse herzustellen. Dazu gehören das **Zerkleinern (Granulieren, Mahlen)**, das **Mischen** im **festen Zustand** und das **Mischen** im **plastischen Zustand**.

Nur in den seltensten Fällen kann ein Kunststoff, so wie er aus dem Reaktionskessel gelangt, verarbeitet und eingesetzt werden. Erst die Abmischung mit **Zuschlagstoffen** im wohlüberlegten Mischungsverhältnis lässt einen technischen Werkstoff entstehen, der den Anforderungen für Verarbeitung und Anwendung gerecht wird.

In diesem Kapitel wird eine allgemeine Übersicht über die grundlegenden Aufbereitungsvorgänge gegeben, ohne dass dabei auf einzelne Kunststoffe eingegangen wird. Je nach Bedeutung der Aufbereitung wird bei den entsprechenden Verarbeitungsverfahren darauf eingegangen.

Vielfach sind Aufbereitungsvorgänge so weit in die Kunststoffrohstoffherstellung integriert, dass das eigentliche Aufbereitungsverfahren gar nicht mehr im Einzelnen zu erkennen ist.

Thermoplaste fallen bei der Polymerisation oft in Pulverform an. In dieser Form können aber bei der Weiterverarbeitung gewisse Schwierigkeiten auftreten. Deshalb werden in der Regel Kunststoffprodukte für die Verarbeitung zum Enderzeugnis als leicht verarbeitbares **Granulat** von der kunststoff-erzeugenden Industrie geliefert. Hier ist bereits beim Kunststoffhersteller der Aufbereitungsprozess durchgeführt worden. Das PVC macht allerdings eine Ausnahme. Bei einer Vielzahl von Variationsmöglichkeiten bei der Rezepturgestaltung und der Fülle der angebotenen Zuschlagstoffe für PVC wird auch aus wirtschaftlichen Gründen meist bei der Verarbeitung von mehr als 30 Monatstonnen die Aufbereitung vom Verarbeiter selbst vorgenommen.

Eine PVC-Rezeptur kann enthalten:

- unterschiedliche PVC-Typen,
- Licht- und Wärmestabilisatoren,
- innere und äußere Gleitmittel,
- Weichmacher,
- Pigmente und
- Füllstoffe.

Die unterschiedlichen PVC-Typen sind das PVC-E, das PVC-S und das PVC-M. Die Buchstaben nach dem Kunststoffkurzzeichen bedeuten E = Emulsion, S = Suspension und M = Masse und kennzeichnen neben dem Polymerisationsverfahren die Reinheit des PVC.

PVC-E enthält bis zu 2,5% Emulgatoren, die einerseits der PVC-Schmelze gute Fließeigenschaften verleihen, andererseits aber eine Trübung beim ungefärbten PVC hervorrufen, so dass keine transparenten Produkte herstellbar sind. PVC-S und -M sind rein, wobei das PVC-M vollkommen frei von Zusätzen ist und sich besonders durch seine Brillanz auszeichnet.

Die Einarbeitung von Stabilisatoren in das PVC ist unbedingte Voraussetzung für die Verarbeitung, um die Abspaltung von Chlorwasserstoff (HCl) und damit die Zersetzung des

PVC zu verhindern. Innere Gleitmittel erniedrigen die Schmelzviskosität, äußere verbessern das Gleitverhalten der Schmelze in den Kunststoffverarbeitungsmaschinen. Weichmacher verleihen dem PVC einen gummiähnlichen Charakter. Pigmente werden für das Einfärben der Kunststoffe gebraucht. Füllstoffe dienen der Verbesserung bestimmter Eigenschaften, werden aber auch zur Verbilligung mancher Kunststofferzeugnisse eingesetzt.

Auch das Einarbeiten von Zuschlagstoffen in Reaktionsharze geschieht häufig beim Kunststoffverarbeiter.

Hinweis

Eine wesentliche Aufgabe der Aufbereitung besteht darin, die Zuschlagstoffe, die in Mengen von 0,01 bis zu 50% dem Kunststoff zugegeben werden können, homogen in der Masse zu verteilen.

Grundsätzlich unterscheidet man dabei einerseits die Mischtechnik im trockenen und andererseits das **Homogenisieren** im plastischen Zustand.

Um die Mischung schon im trockenen Zustand zu optimieren, ist es notwendig, möglichst feinkörnige Materialien und Zuschlagstoffe einzusetzen. Für einige Kunststoff-Formmassen ist daher dem Mischen ein Zerkleinern voranzustellen.

2.2 Zerkleinern

Definition

Unter dem **Zerkleinern** versteht man die Verminderung der Größe von Feststoffkörpern durch vorwiegend mechanische Beanspruchung. Bei der technischen Durchführung der Zerkleinerung wird man immer ein Spektrum verschiedener Korngrößen erhalten.

Sollte aus bestimmten Gründen eine Trennung des Grobguts vom Feingut angestrebt werden, z.B. um Weiterverarbeitungsschwierigkeiten auszuschalten, dann ist eine **Siebung** anzuschließen. Die Gründe, die es notwendig machen, Kunststoff-Formmassen zu zerkleinern, sind vielfältig. So gestattet die Vergrößerung der spezifischen Oberfläche eine bessere Verteilung beim Mischen. Es lassen sich aber auch günstigere Trocknung, gleichmäßigeres Dosieren, schnelleres Aufschmelzen usw. erreichen. Je nach Art des Stoffes stehen zum Zerkleinern verschiedene Anlagen zur Verfügung.

Einige bewährte Zerkleinerungsmaschinen sind

- der Walzenbrecher,
- die Hammermühle,
- der Kollergang,
- die Pralltellermühle,
- die Schneidmühle,
- die Stiftmühle und
- die Walzenmühle.

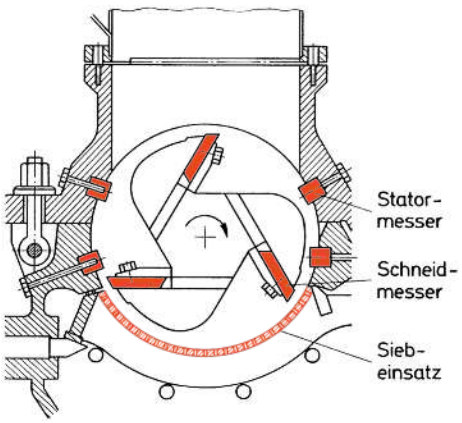
Mit dem Brecher erreicht man immer nur eine Grobzerkleinerung von spröden Stoffen. Zur Feinzerkleinerung werden die Mühlen eingesetzt. Der Zustand des Materials und die Kornfeinheit bzw. die Korngrößenverteilung sind entscheidend für die Auswahl der geeigneten Mühle (Bild 2.1). Die Beanspruchung ist bei den vorgestellten Maschinen unterschiedlich. So wird mit dem Walzenbrecher durch **Druck,** mit der Schneidmühle durch **Scherung** und mit der Stiftmühle durch **Prall** und **Reibung** die Zerkleinerung erreicht.

Wegen ihrer für die Kunststoffzerkleinerung besonderen Bedeutung wird hier die **Schneidmühle** näher erläutert, denn sie wird sehr häufig für die **Regranulierung** von Ausschussteilen eingesetzt und ist in vielen Kunststoffverarbeitungsbetrieben anzutreffen. In einem stabilen Gussgehäuse sind, wie im Bild 2.2 dargestellt, vier Statormesser angebracht und der untere Bodeneinsatz als Siebplatte ausgebildet. Über den oberen offenen Schacht wird das Material zugeführt. Im Mühlengehäuse bewegt sich eine Welle, die mit **3 Schneidmessern** ausgerüstet ist. Die eingegebenen Kunststoffstücke werden von den Rotormessern erfasst und zwischen diesen und den **feststehenden Messern** zerschnitten. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Körnchen eine Größe erreicht haben, dass sie aus dem Siebboden austreten können. Die Schnittgeschwindigkeiten betragen etwa 12 bis 14 m/s. Der Abstand zwischen feststehendem und rotierendem Messer wird in der Regel zwischen 0,25 und 0,5 mm eingestellt. Schneidmühlen gibt es in Ausführungen von 10 kg/h bis 2500 kg/h Ausstoßleistung.

Bild 2.1
Zerkleinerungsmaschinen

Maschine / Stoffzustand	Walzenbrecher	Hammermühle	Schneidmühle	Stiftmühle
spröd				
zäh				
elastisch				
z.B. geeignet für	PS,PF	PS,PF,PMMA	PVC,PE,PP,PA	PVC,PE,PF

Bild 2.2
Schneidmühle



2.3 Mischen

Definition

Mischen ist das **Vermengen** und **Verteilen** verschiedener Stoffe durch Erzeugen von Relativbewegungen zwischen den zu vermischenden Stoffteilchen, bis ein weitgehend ideales Mischverhältnis vorliegt.

Durch **rotierende Verwirbelungselemente,** die in offenen oder geschlossenen Behältern untergebracht sind, werden **Stoß-** und **Reibungskräfte** auf die Partikel ausgeübt, so dass man nach gewisser Zeit einen ausreichend guten Verteilungszustand erhält. Es gibt auch hier je nach Art des Materials und der Korngröße verschiedene Mischanlagen (Bild 2.3).

Zur Herstellung von flüssigen oder pastösen Kunststoffmassen – z.B. **PVC-Pasten** – werden **Rührwerke** eingesetzt. Im Prinzip arbeiten diese Mischer mit einem herausfahrbaren, vertikal angeordneten Mischquirl, der in einem zylindrischen Behälter rotiert. Je nach Aufgabenstellung kann der Behälter doppelmantelig sein und geheizt bzw. gekühlt werden. Es ist auch zweckmäßig, bei Pasten mit hoher Viskosität während des Mischens zu evakuieren, um möglichst wenig Luft mit einzurühren. Dementsprechend sind die Mischanlagen auch als geschlossene Ausführung mit Manometer und Anschluss für eine Vakuumpumpe gebaut.

Besonders gut geeignet zum Mischen von Stoffen mit unterschiedlicher Korngröße, z.B. **Granulate** mit **pulvrigen Zuschlägen** (Gleitmittel, Pigmente, Treibmittel), sind die **Freifallmischer.** Beim gegenseitigen Abrollen der Granulatkörner laden sie sich elektrostatisch auf, so dass eine gute Haftung der Zuschlagsteilchen an der Granulatoberfläche eintritt. Zum Erzielen idealer Mischungen liegen die Drehzahlen zwischen 25 und 35 je Minute. Unter den verschiedenen Ausführungsformen sind die bekanntesten der **Doppelkonusmischer** und der **Taumelmischer.**

Für das Einfärben von Granulaten haben sich Mischgeräte (Bild 2.4) durchgesetzt, die direkt auf dem Trichter der Verarbeitungsmaschine angebracht werden. Diese Geräte besitzen volumetrische oder gravimetrische Dosiereinrichtungen und einen **Mischapparat.** Durch zeitlich abgestimmte Verfahrensschritte, wie Dosieren, Übergabe in die

Verfahren Maschine / Stoffzustand (▲ Rohstoffe • Zuschlagstoffe)	diskontinuierlich						kontin.
	Rührwerk	Taumelmischer	Schaufelmischer	Wirbelmischer	Mischkneter	Mischwalzwerk	Schneckenkneter
pulverförmig ▲ •							
hochviskos - zäh ▲ •							
niederviskos ▲ •							
z.B. geeignet für	PVC-Paste, UP-Harz	PS, PE, PP, PMMA	PVC hart und weich	PVC hart und weich	PVC	PF, PVC	fast alle Thermoplaste

Bild 2.3 *Misch- und Knetmaschinen*

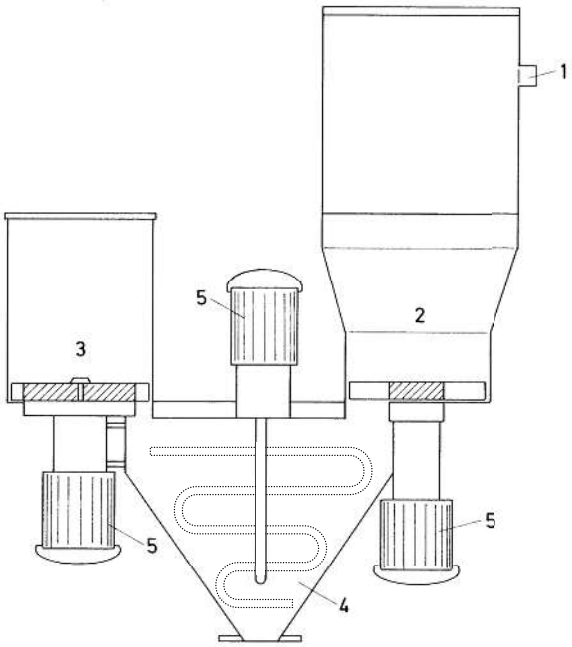


Bild 2.4 *Farbmischgerät (nach Colortronic)*
1 Materialzufuhr,
2 Dosierstation für Kunststoffformmasse,
3 Dosierstation für Farbmittel, 4 Mischkammer,
5 Anriebsmotoren

Mischkammer oder Mischen in der Mischkammer lässt sich das Gerät an die Arbeitsweise jeder Verarbeitungsmaschine, speziell an Spritzgießmaschinen und Extruder, anpassen.

Die **Schaufelmischer**, die ebenfalls in verschiedener Ausführung anzutreffen sind, bestehen aus einem horizontal angeordneten Trog oder Zylinder als Mischbehälter und einem Mischwerkzeug, das achsparallel im Behälter mit Drehzahlen bis 50 min^{-1} rotiert. Die Mischwerkzeuge sind als Schaufeln, als Schneckenband oder als Pflugschare ausgebildet. Der Behälter ist meist mit einem Doppelmantel für Heiz- und Kühlzwecke ausgerüstet. Eingesetzt werden diese Mischer hauptsächlich für **pulvrige Stoffe,** denen aber auch **flüssige Zuschläge** beigegeben werden können.

Hinweis

Von größter Bedeutung für die Aufbereitung pulverförmiger Vorprodukte in der Kunststoffindustrie sind die schnelllaufenden **Wirbelmischer** in Kombination mit den **Kühlmischern**; die Heiz-/Kühlmischer-Kombination (Bild 2.5).

In den senkrecht stehenden Kessel ist durch den Boden eine Welle eingeführt, an der die Mischwerkzeuge befestigt sind. Die **Mischwerkzeuge** sind mehrstufig aufgebaut und besitzen in Bodennähe einen Mischflügel, der während des Mischens den gesamten Boden überdeckt. Am oberen Ende der Welle ist meist ein kleinerer Mischflügel angebracht. Das hochtourig laufende Mischwerkzeug mit Umfangsgeschwindigkeiten an den Flügelenden von 40 m/s bewirkt einen Umlauf des Mischgutes wie bei Flüssigkeiten. Zur Abschwächung des Umlaufs werden Profilschwerter in das Mischgut eingesenkt. Es entsteht im Mischbehälter eine starke Relativbewegung aller Partikel gegeneinander, die sich auch durch Erzeugung von Reibungswärme bemerkbar macht. Zusätzlich ist eine Beheizung von außen durch

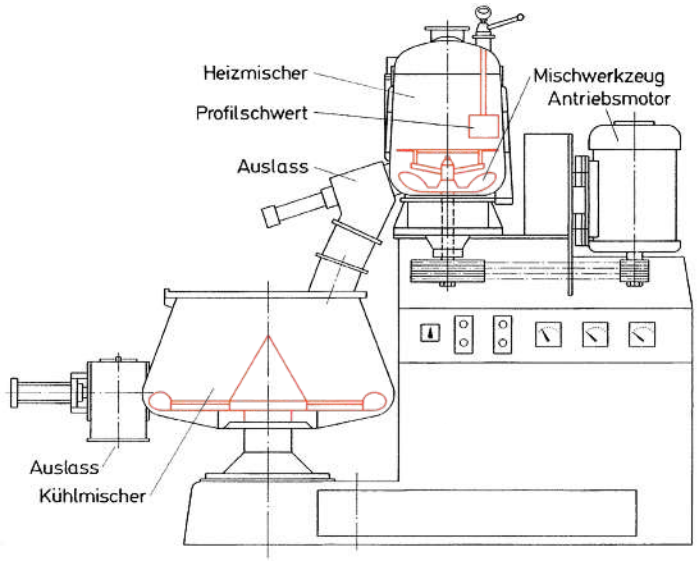


Bild 2.5 *Heiz-/ Kühlmischer-Kombination*

Mantelheizung möglich. Je nach Aufgabenstellung sind Temperaturen bis 140 °C möglich. Das Aufheizen des Mischgutes dient dazu, flüssige Zusätze besser in das trockene Pulver eindringen zu lassen, damit die trockene rieselfähige Kunststoffformmasse erhalten bleibt.

Die Wirbelmischer werden von oben über einen aufklappbaren Deckel chargenweise beschickt. Im praktischen Betrieb sind Rohranschlüsse zur automatischen Beschickung am Deckel angebracht. Der Auslass ist seitlich unten als herausfahrbare Klappe angebracht. Durch ein Rohrverbindungsstück gelangt dann die Masse in den darunterliegenden **Kühlmischer.** Hier wird die heiße Mischung für die Zwischenlagerung auf etwa 35 °C heruntergekühlt, um ein Zusammenbacken der Masse zu verhindern. Die Kühlmischer sind im Volumen immer größer ausgelegt, um dem Mischgut mehr Kühlfläche anzubieten. Zusätzliche Maßnahmen, z.B. rotierende Kühlringe oder in den Behälter eingesetzte Kühlflächen, erhöhen die Kühlwirkung. Dieses ist allein deshalb nötig, um Heiz- und Kühlmischer im gleichen Arbeitstakt laufen zu lassen.

Die Mischzeiten sind relativ kurz und liegen in der Größenordnung von 10 Minuten je Charge. Die üblichen Maschinengrößen bewegen sich bei 1000 bis 1500 l für den Heizmischer und 2000 bis 3000 l für den Kühlmischer. Hauptsächlich werden die Wirbelmischer für **trockene PVC-Mischungen (dryblends)** eingesetzt, es ist aber auch möglich, **flüssige Anteile,** wie Weichmacher, einzumischen. Die Erwärmung des Mischgutes lässt bei PVC weich – je nach PVC-Typ – entweder trockene Mischungen entstehen, oder aber es bilden sich **Agglomerate,** eine krümelige Masse, die gute Rieselfähigkeit garantiert.

2.4 Plastifizieren

Definition

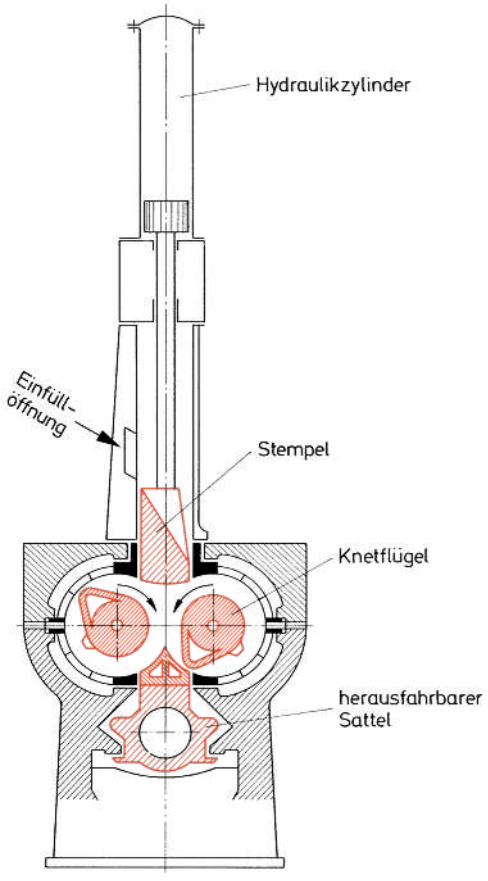
Beim **Plastifizieren** wird die trocken vorgemischte Kunststoffformmasse aufgeschmolzen und weiter homogenisiert.

Bei den dazu eingesetzten Maschinen ist zu unterscheiden zwischen den **diskontinuierlich** arbeitenden Knetern und Walzwerken, die überwiegend noch zur Folienherstellung durch Kalandrieren eingesetzt werden, und den **kontinuierlich** arbeitenden Plastifizieranlagen.

Der **Kneter** besteht aus einem horizontal angeordneten Trog, in dem sich zwei Z-förmige Knetarme gegeneinander bewegen. Beim sog. **Innenkneter** (Bild 2.6) sind die Knetflügel dem Innenraum angepasst. Ein Stempel drückt die Masse in die von außen beheizbare Knetkammer und begrenzt somit den Knetraum. Durch einen herausfahrbaren Sattel lässt sich der Kneter entleeren. Der Energieumsatz in diesen Knetern ist sehr groß, so dass die Kneter nur bis zu einem Kammervolumen von etwa 300 l gebaut werden. Das Einsatzgebiet für Kneter ist besonders die Herstellung von Mischungen mit hohen Füllstoffanteilen.

Das **Walzwerk** ist sehr lohnintensiv, sobald es als reines Mischaggregat eingesetzt wird. Es ist immer eine Bedienungsperson nötig. Die Beanspruchung der Masse erfolgt nur im **Walzspalt** zweier achsparallel angeordneter beheizter Walzen von etwa 300 bis 500 mm Durchmesser und 800 bis 1500 mm Länge, die gegeneinander mit geringem Geschwindigkeitsunterschied rotieren. Zur besseren Durchmischung ist von der Bedienungsperson das sich auf der heißeren Walze bildende **Walzfell** laufend seitlich einzuschneiden und sind

Bild 2.6 *Innenkneter*



diese Abschnitte zur Mitte des Walzspaltes zu dirigieren. Für einige hochwertige PVC-Mischungen ist das Walzwerk heute noch ein nicht zu ersetzendes Plastifizieraggregat.

Information

Für die Granulatherstellung – aber auch häufig für die Kalanderbeschickung – bedient man sich überwiegend **kontinuierlich arbeitender Plastifizieranlagen.**

Hier werden ausschließlich Schneckenaggregate eingesetzt. Besondere Bedeutung kommt den Mehrfachschneckenmaschinen zu. So werden z.B. bei einem **Doppelschneckensystem** mit kämmenden Schnecken die sich im Schneckengang befindenden Partikel wie in einem Walzspalt wendelförmig über die gesamte Schneckenlänge durch mechanische Kräfte innig durchgeknetet und homogenisiert.

Für Aufbereitungszwecke sind die Doppelschneckenmaschinen häufig mit zusätzlichen Misch- und Homogenisierelementen ausgerüstet.

Hierfür haben sich bevorzugt die gleichlaufenden **Zweischneckenextruder** bewährt. Bei diesem Verfahrensprinzip wird das aufzubereitende Kunststoffmaterial von der einen Schnecke auf die andere übertragen und im Überlappungsbereich optimal durchmischt. Dabei erfolgt ein gegenseitiges Abstreifen der Schneckenflanken, wodurch ein guter Selbstreinigungseffekt gewährleistet ist. Für die eigentliche Homogenisierung werden im mittleren Schneckenbereich Knet- bzw. Mischelemente eingebaut.

Bei den meisten für Aufbereitungsaufgaben konzipierten Zweischneckenextrudern ist dabei die individuelle Zusammenstellung eines eigenen Schneckenprofils gegeben. Durch verschiedene **Knet-** und **Schneckensegmente** mit unterschiedlicher Breite, Länge und Tiefe kann je nach Anwendungsfall im Baukastenprinzip eine spezielle Schnecken- und Knetscheibengeometrie aufgebaut werden (Bild 2.7).

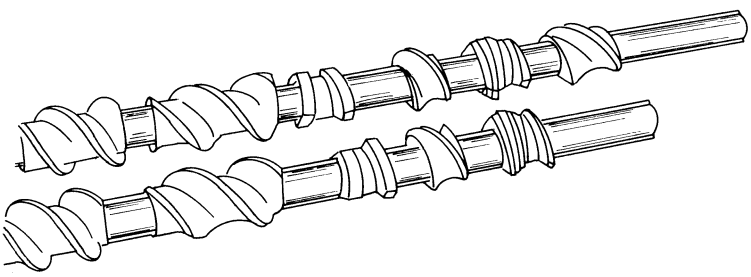
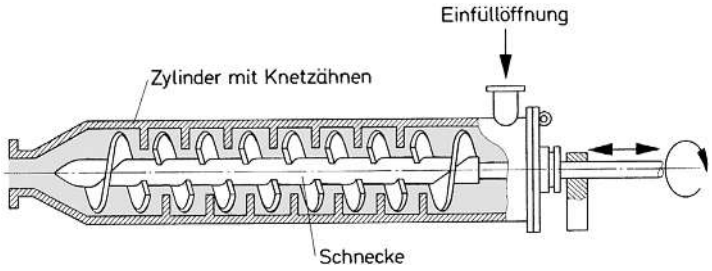


Bild 2.7 *Zweischneckenaufbau mit verschiedenen Knet- und Schneckensegmenten*

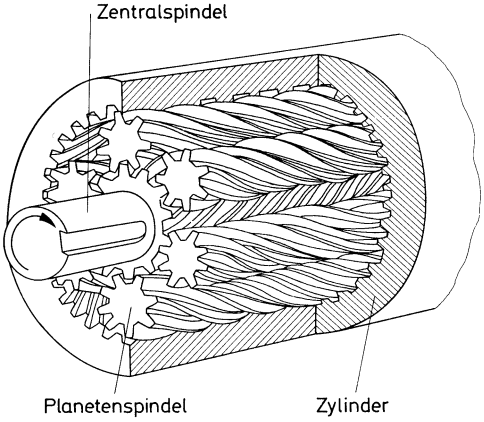
Auch **Einschneckenmaschinen** können bei besonderer konstruktiver Gestaltung gute Misch- und Plastifizieraufgaben erfüllen. Beim **Kokneter** (Bild 2.8) handelt es sich um einen Einschneckenextruder, dem neben der **rotierenden** Bewegung der Schneckenwelle eine **oszillierende** in der Schneckenachse überlagert ist. Der Schneckensteg ist in Stegabschnitte aufgegliedert, die so angeordnet sind, dass zwei Reihen axial in den Zylinderraum ragende Knetzähne bei den Bewegungsabläufen keine Berührung mit der Schnecke finden. Der Misch- und Kneteffekt wird durch hohe **Scherkräfte** und große Relativverschiebungen in allen Richtungen der Masseschichten besonders gefördert. Dem Kokneter ist zur gleichmäßigen Austragung der Masse ein Schneckenaggregat nachgeschaltet.

Bild 2.8 *Kokneter*



In der Aufbereitungspraxis hat sich auch der **Planetwalzenextruder** (Bild 2.9) bewährt. Hierbei handelt es sich um eine Schneckenpresse, bei der im Mittelabschnitt des Schneckenzylinders um eine zentrale Spindel mehrere kleinere Planetenspindeln angeordnet sind. Durch die Schrägverzahnung der Spindeln und der Zylinderwand wird in dem Schneckenplanetsystem ein gegenseitiges Abwälzen erreicht. Die Wirkungsweise des Homogenisiereffekts beim Massedurchgang besteht darin, in den vielfältigen Spalten der Verzahnung die Masse zu dünnen Schichten auszuwalzen. Eine nachgeschaltete kurze Austragsschnecke übernimmt die plastifizierte Masse und fördert sie einem Düsenkopf zu.

Bild 2.9
Planetwalzensystem



2.5 Granulieren

Definition

Die Granulatherstellung kann durch zwei verschiedene Verfahren erfolgen. Es wird unterschieden zwischen der **Heiß-** und der **Kaltgranulierung**.

Bei der **Heißgranulierung** (Bild 2.10) wird die aus einer dem Plastifizieraggregat vorgesetzten Mehrlochdüse austretende plastische Kunststoffformmasse von einem vor der Düsenplatte rotierenden Messer abgeschabt und infolge der Zentrifugalkraft weggeschleudert. Um Düsenplatte und Messer ist ein geschlossenes Gehäuse gebaut, in das zur Kühlung des Granulats Kaltluft eingeblasen oder ein Wasserring zur Aufnahme der Granulatkörner

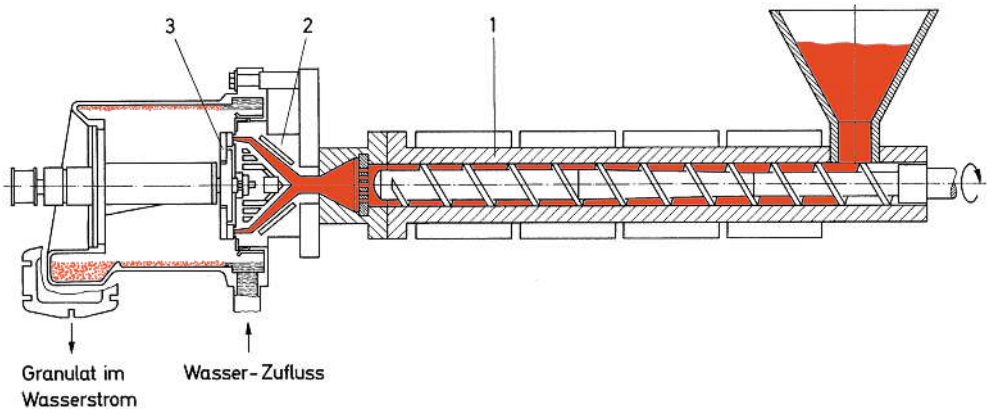


Bild 2.10 *Heißgranulierung 1 Extruder, 2 Mehrlochdüse, 3 Messer*

erzeugt wird. Auch lässt sich die Heißgranulierung unter Wasser für in der Schmelze stark klebende Thermoplaste (LDPE) durchführen. Das Granulat wird anschließend in einer Trockenanlage vom Wasser befreit und abgesackt bzw. in Silos gelagert.

Da die Körnchen nach dem Abschlag noch genügend heiß sind und versuchen, die kleinste Oberfläche zu erlangen, sind die Granulate immer kugel- oder linsenförmig ausgebildet.

Zum Herstellen des zylindrischen Granulats werden die aus der Lochdüse austretenden Stränge getrennt voneinander durch ein Wasserbad gezogen und kühlen dort ab. Über eine Abzugseinrichtung – z.B. einen Bandabzug – gelangen die Stränge in den Granulator und werden dort durch eine rotierende Messerwalze in 2 bis 3 mm lange Körnchen geschnitten. Dieses Verfahren bezeichnet man als **Kaltgranulierung** (Bild 2.12). Für Aufbereitungsvorgänge in der Kunststoffindustrie ist auf dem Markt eine Vielzahl von verschiedenartigen Maschinentypen zu finden. Dabei ist der Trend zu automatisch und kontinuierlich arbeitenden Anlagen wegen der größeren Wirtschaftlichkeit und der gleichmäßigeren Qualität des aufbereiteten Materials unverkennbar.

2.6 Lagerung, Trocknung und Transport

Beim Lagern kleinerer Mengen von Kunststoffformmassen, was in Verarbeitungsbetrieben mit häufig wechselnden Aufgabenstellungen – z.B. in Spritzgieß- und Pressbetrieben – anzutreffen ist, wird man die Kunststoffmassen in kleineren Gebinden wie Sackware mit 25 kg Inhalt im **Stapellager** vorrätig halten. Dabei ist darauf zu achten, dass die Lagerung in trockenen Räumen erfolgt. Die Säcke sind ein bis zwei Tage vor der Verarbeitung in die Fabrikationsräume zu bringen, damit sich auf dem Granulat keine Feuchtigkeit niederschlagen kann.

Für das Verarbeiten größerer Mengen Kunststoffgranulat eines bestimmten Typs werden mit Polyethylenfolie ausgeschlagene vier- oder achteckige Pappcontainer (Oktabins) mit bis zu 1000 kg Inhalt und sog. «big bags» (große Kunststoffsäcke) von den Kunststoffherstellern abgegeben. Einige Kunststoffe wie Polycarbonat (PC) und Polyamid (PA) müssen vor der

Verarbeitung getrocknet werden. Bei PC ist die Trocknung zwingend vorgeschrieben, weil sich sonst die Festigkeitseigenschaften erheblich verschlechtern. Auch sind Kunststoffteile aus PC, PA, PMMA – wenn die Granulate nicht vorgetrocknet sind – durch Schlieren, Streifen und Bläschen optisch unansehnlich. Die Trocknung erfolgt entweder 3 bis 4 Stunden im Trockenschrank auf Blechen mit 3 cm Schichtdicke bei 110 bis 120 °C oder in **Trockenlufttrocknern** (Bild 2.11), die heute in modernen Förderanlagen integriert sind. Zur Abführung der Feuchtigkeit vom Kunststoffgranulat bedient man sich trockener warmer Luft, die im Kreislauf geführt wird, bis die vorgegebene Restfeuchte für das Material erreicht ist. Die von der Luft aufgenommene Feuchtigkeit wird an ein Trockenmittel abgegeben. Ein Überschreitung des Taupunktes der Luft – der etwa bei –30 °C liegt –, bedeutet, dass das Trockenmittel genügend mit Wasser gesättigt ist. Dann schaltet das Gerät automatisch auf einen zweiten Trockenmittelbehälter um, so dass die Regeneration für den ersten erfolgen kann.

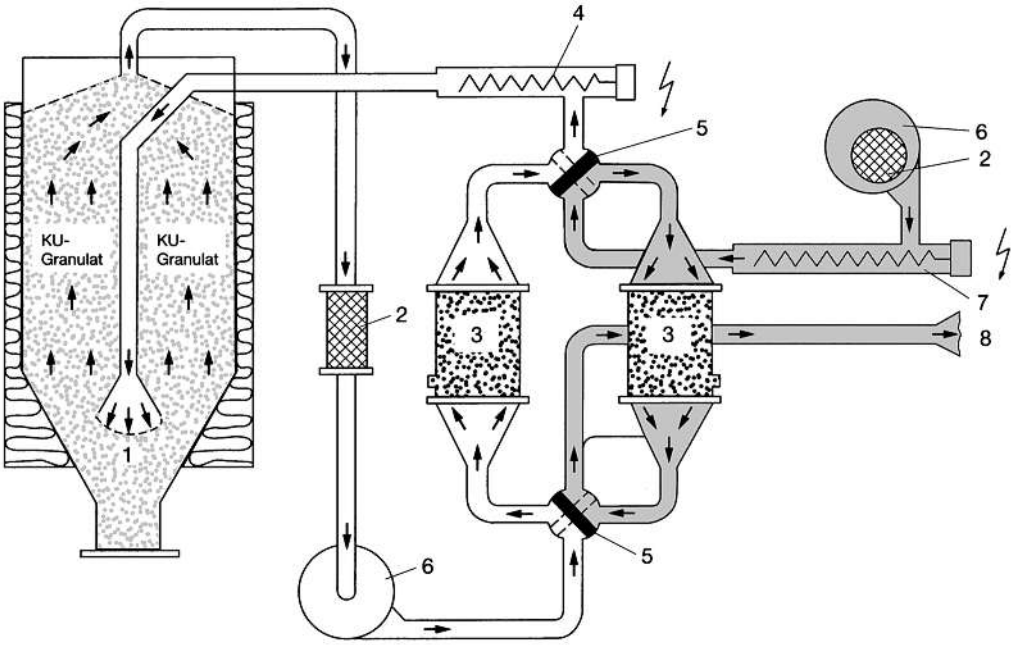


Bild 2.11 *Trockenlufttrockner*
1 Luftaustrittsdüse, 2 Mikrofilter, 3 Trockenmittelbehälter, 4 Trockenheizung, 5 Trennweiche, 6 Gebläse, 7 Regenerierheizung, 8 Abluftleitung

Pressmassen sollten möglichst nach einem halben Jahr Lagerung verarbeitet sein, weil durch Weiterkondensation der Harze die Fließfähigkeit bei der Verarbeitung gemindert wird. Die Lagerzeit sollte noch kürzer gewählt werden, wenn die Harze in Räumen bei höherer Temperatur lagern. Sinngemäß gilt diese Aussage für alle Polykondensationsprodukte, ebenso auch für die ungesättigten Polyesterharze.

Hier sollten auch immer die Richtlinien der Kunststoffformmassenhersteller beachtet werden. Für die Lagerung sehr großer Mengen von Kunststoffen werden bevorzugt **Silos** bis zu Fassungsvermögen von 150 m^3 eingesetzt. Der Transport dieser Kunststoffe von den Kunststoffherstellern zu den verarbeitenden Betrieben erfolgt überwiegend in großen

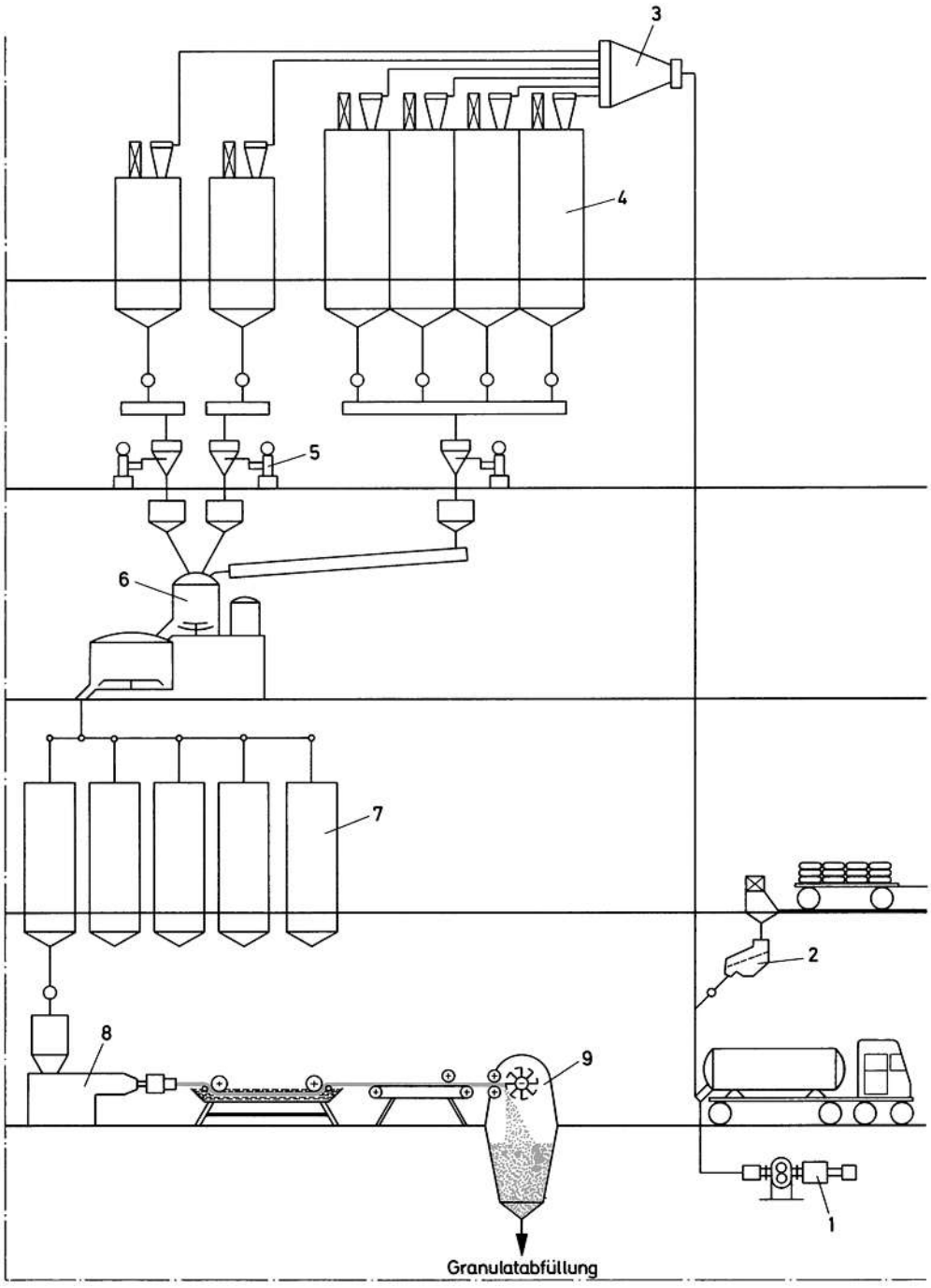


Bild 2.12 *Schema einer Aufbereitungsanlage zum Herstellen von Granulat*
1 Luftstromerzeuger, 2 Sackaufgabeeinrichtung, 3 Weiche, 4 Hauptsilo, 5 Waage, 6 Mischer, 7 Tagessilo, 8 Schneckenknetzer, 9 Granulator

Behältern mit Straßenfahrzeugen oder Eisenbahnwaggons (Tankwagen). Zum Entleeren der Fahrzeugbehälter werden die Kunststoffformmassen mittels Luft über Rohrleitungen in die Silos gefördert. Die Beschickung der Mischer und Plastifizieraggregate von Hand wird bei zunehmender Maschinengröße immer unwirtschaftlicher. Daher verwendet man für den innerbetrieblichen Transport ebenfalls pneumatische Fördermethoden über Rohrleitungssysteme. Hierbei wird unterschieden zwischen **Druck-** und **Saugförderanlagen.**

Ob Druck- oder Saugförderung eingesetzt wird, richtet sich in der Regel nach der Länge der Förderwege und der Förderleistung. Über die Höhe des Förderdruckes kann die Leistungsfähigkeit einer Druckförderung gesteigert werden. Auch lässt sich hierbei das Fördergut ohne Abscheider direkt in den Silo blasen. Die Saugförderung arbeitet ohne Überdruck und damit staubfrei. Sie ist die einfachere und damit preiswertere Fördermethode. Vielfach werden sowohl Druck- als auch Saugfördereinrichtungen oder eine kombinierte Saug-Druck-Förderung in einem Betrieb eingesetzt.

Außerdem unterscheidet man zwischen der **Flugförderung** und der **Dichtstromförderung.** Bei der Flugförderung mit Luftgeschwindigkeiten von ca. 16 bis 22 m/s bewegen sich die einzelnen Materialpartikel auf einer Zickzackbahn durch das Förderrohr, während sich bei der Dichtstromförderung ganze Materialpfropfen unterschiedlicher Länge relativ langsam (<10 m/s) durch das Rohr bewegen. Die Dichtstromförderung hat den Vorteil, dass eine Entmischung von pulvrigen Compoundmischungen mit hohen Gleitmittel- und Stabilisatoranteilen während der Förderung in engen Grenzen gehalten wird.

ⓘ Information

Eine pneumatische Förderanlage (Bild 2.12) besteht neben den Silos aus einer Austragsvorrichtung zum Einschleusen der Kunststoffformmasse in die Förderleitung, dem Luftstromerzeuger und dem Abscheider zur Trennung von Fördergut und Luft.

Bei der Planung einer solchen Anlage sollte auch eine sog. Sackaufgabeeinrichtung mit vorgesehen sein.

Das Kunststoffpulver oder -granulat wird aufgrund des Strömungswiderstandes von der Luft beschleunigt und erreicht je nach Korngröße bei Granulat 50% und bei Feingut 90% der Luftgeschwindigkeit. Zum Verteilen des Materialstroms auf mehrere Silos werden Weichen eingesetzt. Von den Silos gelangt die Kunststoffformmasse über den Verwiegebehälter in den Mischer und weiter in die Tagessilos, die die entsprechenden Verarbeitungsmaschinen versorgen. Für die Beschickung von Verwiegebehälter, Tagessilos und Verarbeitungsmaschinen kann eine Saugförderung eingesetzt werden. Zur Kontrolle des Füllstandes sind in den Silos und Behältern Messgeräte installiert. Die Förder-, Wiege- und Mischeinrichtungen lassen sich automatisch von einer **Mess**- und **Steuerwarte** aus bedienen, so dass für kunststoffverarbeitende Betriebe mit pneumatischen Fördereinrichtungen erhebliche Rationalisierungen erreicht werden.