

Vogel Fachbuch

Schwarz/Ebeling (Hrsg.)

# Kunststoff- verarbeitung



Schwarz/Ebeling (Hrsg.)  
Kunststoffverarbeitung

Schwarz/Ebeling (Hrsg.)

# Kunststoffverarbeitung

Dr.-Ing. Otto Schwarz

Dipl.-Ing. Friedrich-Wolfhard Ebeling

Dipl.-Ing. Brigitte Furth

11., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

Dipl.-Ing. (FH) FRIEDRICH-WOLFHARD EBELING  
Jahrgang 1936. Nach Chemieingenieurstudium in  
Nürnberg 6-jährige Industrietätigkeit im Bereich  
der Aufbereitung und Verarbeitung von Kunst-  
stoffen. Seit 1965 Lehrtätigkeit für die Gebiete  
Kunststoffkunde und -verarbeitung sowie Leitung  
und Organisation von Langzeitprogrammen im  
Süddeutschen Kunststoff-Zentrum Würzburg.  
Von 1990 bis 2006 Prüfungsausschussvorsitzender  
für Industriemeisterprüfungen Kunststoff und  
Kautschuk an der Industrie- und Handelskammer  
Würzburg-Schweinfurt, danach stellvertretender  
Vorsitzender.

Dipl.-Ing. (FH) BRIGITTE FURTH  
Jahrgang 1965. Studium der Fachrichtung Kunst-  
stofftechnik an der FH Würzburg-Schweinfurt.  
5 Jahre Tätigkeit in der feinwerktechnisch-opti-  
schen Industrie, Schwerpunkte Entwicklung und  
Qualitätssicherung. Von 1993 bis Ende 1996 am  
Süddeutschen Kunststoff-Zentrum Würzburg Aus-  
bildungsingenieurin und Gruppenleiterin in den  
Bereichen Spritzgießen und Qualitätswesen. Ab  
1997 wieder Tätigkeit in der kunststoffverarbei-  
tenden Industrie.

Dr.-Ing. OTTO SCHWARZ  
Jahrgang 1929. Studium 1950 bis 1955 an der TH  
Aachen. Dipl.-Ing. Verfahrenstechnik. Wissen-  
schaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststoff-  
verarbeitung an der TH Aachen. 1968 Promotion  
zum Dr.-Ing. 1968 bis 1973 Tätigkeit beim Kunst-  
stoffverband in Frankfurt. Seit 1973 im Süddeut-  
schen Kunststoff-Zentrum, ab 1977 stellvertre-  
tender Institutsleiter, 1992 bis 1994 Institutsleiter.  
1994 Eintritt in den Ruhestand, 1997 verstorben.

---

**Weitere Informationen:**  
[www.vogel-buchverlag.de](http://www.vogel-buchverlag.de)

---

ISBN 978-3-8343-3119-9

11. Auflage. 2009

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.

Printed in Germany

Copyright 1978 by

Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg  
Umschlaggrafik: Fa. Arburg GmbH & Co.,  
72290 Loßburg

Herstellung: Fotosatz-Service Köhler GmbH  
Reinhold Schöberl, Würzburg

# Vorwort

Die Kunststoffindustrie hat mit fast 7% Umsatz ein beachtliches Kontingent an der deutschen Industrieproduktion. Davon fällt auf die Verarbeitung mit  $\frac{2}{3}$  des Gesamtumsatzes der höchste Anteil in der Kunststoffbranche. Umso wichtiger ist es, der Aus- und Weiterbildung von Nachwuchskräften – nicht nur für Hochschulabsolventen –, sondern auch für Techniker, Meister und Mechaniker, einen hohen Stellenwert zuzuordnen.

Produktionsprozesse laufen vielfach über die Verknüpfung mehrerer Verarbeitungsschritte, bis vom angelieferten Rohstoff ein verkaufsfähiges Fertigprodukt hergestellt ist. Im Buch werden mehrheitlich die grundsätzlichen Verfahrensabläufe für die verschiedenen Verarbeitungstechniken der Kunststoffe vorgestellt, ohne den kompletten Fertigungsablauf zu beschreiben. Diese Darstellungen bieten aber dennoch einen ausreichenden Überblick zum umfangreichen Gebiet der Kunststoffverarbeitungsverfahren. Grundsätzlich sind kaum neue Verfahren hinzugekommen, dafür vollziehen sich aber bei der Automation erhebliche Fortschritte, immer mit dem Ziel, eine hohe und reproduzierbare Qualität der Produkte zu erzeugen.

Aufgrund der Vielzahl und der enorm großen Variabilität von Kunststoffteilen, wurde der Spritzgießtechnik der größte Raum gewidmet. Darüber hinaus enthält dieses Kapitel neben den Verfahrensbeschreibungen auch nützliche Hinweise für die Formteilgestaltung und die Werkzeug- bzw. Angussauslegung.

Die Anregung von verschiedenen berufsbildenden Schulen, auch den Steuerungsablauf hydraulischer Spritzgießmaschinen aufzunehmen, wurde in dieser Auflage berücksichtigt. Zum besseren Verständnis des Hydraulikplans sind auch die Funktionsweisen der Steuer- und Arbeitsglieder einschließlich entsprechender Bildzeichen aufgezeichnet und erläutert.

Die Abhandlungen sind praxisbezogen, übersichtlich und enthalten zahlreiche Bilder mit farblichen Hervorhebungen der wichtigen Details zum Verständnis der Verfahrensabläufe. Auf die Theorie wurde so weit wie möglich verzichtet.

Wir danken dem Verlag für eine gewohnt gute Zusammenarbeit.

Würzburg

Friedrich-Wolfgang Ebeling



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	5	6.3	Blasstation . . . . .	73
<b>1 Einführung in die Kunststofftechnologie</b> . . . . .	9	6.4	Blaswerkzeuge . . . . .	74
1.1 Einteilung der Kunststoffe . . . . .	9	6.5	Hohlkörper-Blasformmaschinen . . . . .	76
1.2 Temperaturverhalten und Verarbeitung der Kunststoffe . . . . .	11	6.6	Extrusionsstreckblasen . . . . .	78
1.3 Kennwerte für die Verarbeitung . . . . .	11	<b>7 Gießen von Folien</b> . . . . .		81
<b>2 Aufbereitung</b> . . . . .	13	<b>8 Spritzgießen</b> . . . . .		83
2.1 Allgemeines . . . . .	13	8.1 Allgemeines . . . . .		83
2.2 Zerkleinern . . . . .	14	8.2 Formmassen . . . . .		83
2.3 Mischen . . . . .	15	8.3 Spritzgießmaschinen . . . . .		83
2.4 Plastifizieren . . . . .	17	8.4 Spritzgießwerkzeuge . . . . .		96
2.5 Granulieren . . . . .	19	8.5 Formteilmgestaltung . . . . .		109
2.6 Lagerung und Transport . . . . .	20	8.6 Verfahrenstechnik beim Spritzgießen . . . . .		121
<b>3 Kalandrieren</b> . . . . .	23	8.7 Spritzblasen . . . . .		132
3.1 Allgemeines . . . . .	23	8.8 Thermoplastschaumguss . . . . .		134
3.2 Kunststoffformmassen zum Kalandrieren . . . . .	23	8.9 Gasinnendruckverfahren (GID) . . . . .		137
3.3 Aufbau des Kalanders . . . . .	24	8.10 Mehrkomponenten-Spritzgießen . . . . .		139
3.4 Aufbau der Kalandrstraße und Verfahrenstechnik . . . . .	25	<b>9 Pressen</b> . . . . .		141
3.5 Nachbehandlung kalandrierter Folien . . . . .	28	9.1 Allgemeines . . . . .		141
<b>4 Beschichten von Trägerbahnen</b> . . . . .	29	9.2 Definitionen . . . . .		141
4.1 Allgemeines . . . . .	29	9.3 Formmassen – Lieferformen, Typisierung und Aufbereitung . . . . .		141
4.2 Trägerstoffe und ihre Vorbehandlung . . . . .	29	9.4 Vorbehandlung der aufbereiteten Formmasse . . . . .		143
4.3 Beschichtungsmassen . . . . .	30	9.5 Pressen . . . . .		145
4.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen . . . . .	31	9.6 SMC-Verfahren . . . . .		147
4.5 Arbeitsablauf bei der PVC-Beschichtung . . . . .	35	9.7 Spritzpressen . . . . .		148
4.6 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen . . . . .	37	9.8 Entgraten . . . . .		149
<b>5 Extrudieren</b> . . . . .	39	9.9 Schichtpressen . . . . .		149
5.1 Allgemeines . . . . .	39	9.10 Pressen von Thermoplasten . . . . .		150
5.2 Extrudierbare Kunststoffformmassen . . . . .	39	<b>10 Schäumen</b> . . . . .		151
5.3 Aufbau des Extruders . . . . .	41	10.1 Allgemeines . . . . .		151
5.4 Verfahrenstechnische Vorgänge im Extruder . . . . .	46	10.2 Herstellung der Schaumstoffe . . . . .		152
5.5 Extruderwerkzeuge . . . . .	49	10.3 Übersicht über Schäumverfahren . . . . .		153
5.6 Nachfolgeeinrichtungen . . . . .	54	10.4 Schaumstoffe mit gleichmäßiger Dichteverteilung . . . . .		154
5.7 Extruderanlagen . . . . .	57	10.5 Integralschaumstoffe . . . . .		159
5.8 Produktionstechnik . . . . .	65	<b>11 Verarbeitung glasfaserverstärkter Kunststoffe</b> . . . . .		163
<b>6 Extrusionsblasformen</b> . . . . .	69	11.1 Allgemeines . . . . .		163
6.1 Allgemeines . . . . .	69	11.2 Werkstoffkomponenten für GFK . . . . .		163
6.2 Werkzeuge zur Herstellung der Vorformlinge . . . . .	69	11.3 Härtung der Reaktionsharze . . . . .		166
		11.4 Verarbeitung glasfaserverstärkter Reaktionsharze . . . . .		168
		11.5 Nachbearbeiten von GFK-Teilen . . . . .		178
		<b>12 Gießen von Reaktionsharzen</b> . . . . .		179

<b>13 Rotationsformen</b> . . . . .	181	17.5 Reibschweißen . . . . .	213
13.1 Allgemeines . . . . .	181	17.6 Hochfrequenzschweißen . . . . .	214
13.2 Formmassen . . . . .	181	17.7 Ultraschallschweißen . . . . .	216
13.3 Rotationsanlagen . . . . .	182	17.8 Infrarotschweißen . . . . .	217
13.4 Rotationswerkzeuge . . . . .	184	17.9 Laserschweißen . . . . .	217
13.5 Herstellen von Formteilen . . . . .	186	<b>18 Kleben</b> . . . . .	219
13.6 Verarbeitungsfehler . . . . .	187	18.1 Allgemeines . . . . .	219
<b>14 Pulverbeschichten</b> . . . . .	189	18.2 Kunststoff-Fügeteile . . . . .	219
14.1 Allgemeines . . . . .	189	18.3 Klebstoffe . . . . .	221
14.2 Wirbelsintern . . . . .	189	18.4 Abbindemechanismen . . . . .	222
14.3 Flammsspritzen . . . . .	190	18.5 Technologie des Klebens . . . . .	222
14.4 Elektrostatisches Beschichten . . . . .	190	18.6 Klebtechnik . . . . .	225
<b>15 Verarbeiten von Kautschuken</b> . . . . .	191	<b>19 Mechanische Verbindungen bei Kunststoffen</b> . . . . .	227
15.1 Allgemeines . . . . .	191	19.1 Allgemeines . . . . .	227
15.2 Werkstoffe . . . . .	191	19.2 Nietverbindungen . . . . .	227
15.3 Herstellen der Formmassen . . . . .	192	19.3 Schraubverbindungen . . . . .	228
15.4 Kalandrieren . . . . .	193	19.4 Schnappverbindungen . . . . .	228
15.5 Extrudieren . . . . .	193	19.5 Weitere mechanische Verbindungen . . . . .	229
15.6 Pressen . . . . .	194	<b>20 Spanende Bearbeitung</b> . . . . .	231
15.7 Spritzgießen . . . . .	195	20.1 Allgemeines . . . . .	231
15.8 Handkonfektionieren . . . . .	196	20.2 Spanbedingungen und Spanwerkzeuge . . . . .	231
<b>16 Warmformen</b> . . . . .	197	20.3 Spanmöglichkeiten . . . . .	232
16.1 Allgemeines . . . . .	197	<b>21 Veredeln von Kunststoffen</b> . . . . .	237
16.2 Zustandsbereiche der Thermoplaste . . . . .	197	21.1 Allgemeines . . . . .	237
16.3 Umformverfahren . . . . .	199	21.2 Polieren . . . . .	237
16.4 Vorbereiten des Halbzeugs . . . . .	203	21.3 Metallisieren . . . . .	237
16.5 Erwärmen des Halbzeugs . . . . .	203	21.4 Beflocken . . . . .	239
16.6 Umformwerkzeuge und -maschinen . . . . .	203	21.5 Bedrucken . . . . .	240
16.7 Nachbearbeitung . . . . .	204	21.6 Prägen . . . . .	242
16.8 Kaltumformen . . . . .	204	21.7 Laserbeschriften . . . . .	242
<b>17 Schweißen</b> . . . . .	205	21.8 Lackieren . . . . .	243
17.1 Allgemeines . . . . .	205	<b>Weiterführende Literatur</b> . . . . .	245
17.2 Einteilung der Kunststoffschweißverfahren . . . . .	206	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	247
17.3 Heizelementschiweißen . . . . .	206		
17.4 Warmgasschweißen . . . . .	209		



# 1 Einführung in die Kunststofftechnologie

## 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.

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 multifunktionellen 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.

**Thermoplaste** sind aus sehr langen Molekülketten aufgebaut, die von zwischenmolekularen Kräften im festen Verbund zusammengehalten werden.

**Duroplaste** bestehen aus einem makromolekular aufgebauten Raumnetzwerk mit engmaschiger Verknüpfung über chemische Bindungskräfte.

**Elastomere** sind kettenförmige Makromoleküle, die durch wenige chemische Vernetzungsbrücken zu einem weitmaschigen Raumnetzwerk miteinander verbunden sind.

Zustandsform	fest, glasartig spröde	thermoelastisch, gummielastische Dehnung	thermoplastisch, zähviskoses Fließen	Zersetzung
Molekulare Struktur	ineinander verknäulte Makromoleküle  zwischenmolekulare Bindungskräfte groß	noch weitgehend verknäulte Makromoleküle, zunehmende Beweglichkeit der Molekülketten	Makromoleküle gegeneinander verschiebbar, zwischenmolekulare Bindungskräfte weitgehend aufgehoben	molekularer Abbau des Thermoplasten
Verarbeitung	Spanendes und spanloses Trennen, lösbares und unlösbares Fügen (Kleben), Oberflächenveredlung	Umformen: Biege-, Druck-, Zug- und Zugdruckumformen	Urformen: Spritzgießen, Extrudieren, Pressen, Schäumen, Kalandrieren, Rotationsformen usw. unlösbares Fügen (Schweißen)	–

Bild 1.1 Zustandsverarbeitungschema für amorphe Thermoplaste

Zustandsform	fest, glasartig spröde	fest, bis zähelastisch	thermoelastisch	thermoplastisch	Zersetzung
Molekulare Struktur	amorphe und kristalline Bereiche fest, zwischenm. Bindungskräfte groß	amorphe Bereiche zunehmend beweglich, kristalline Bereiche noch fest, zwischenm. Bindungskräfte in kristallinen Bereichen groß	kristalline Bereiche zunehmend gelöst	Makromoleküle gegeneinander verschiebbar	molekularer Abbau des Thermoplasten
Verarbeitung	in diesem Bereich nicht üblich	spanendes und spanloses Trennen, lösbares und unlösbares Fügen (Kleben), Oberflächenveredlung	Umformen: Biege-, Druck-, Zug- und Zugdruckumformen	Urformen: Spritzgießen, Extrudieren usw. unlösbares Fügen (Schweißen)	–

Bild 1.2 Zustandsverarbeitungschema für teilkristalline Thermoplaste

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

Bild 1.3 Zustandsverarbeitungschema für Duroplaste

Zustandsform	fest, hart bis zähelastisch	gummi-elastisch	Zersetzung
Molekulare Struktur	weitmaschig vernetzte Makromoleküle		molekularer Abbau
Verarbeitung	in diesem Bereich nicht üblich eventuell zerkleinern durch Mahlen	spanendes und spanloses Trennen lösbares und unlösbares Fügen Oberflächenveredlung	–

Bild 1.4 Zustandsverarbeitungschema für Elastomere

Es wird bei den Thermoplasten weiterhin zwischen den **amorphen** und **teilkristallinen Thermoplasten** (Bilder 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.

## 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

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.

ist durch Wärmeeinwirkung keine Zustandsänderung mehr möglich, es sei denn, sie werden oberhalb der Zersetzungstemperatur chemisch abgebaut (Bilder 1.3 und 1.4).

Welcher Zusammenhang zwischen den Zustandsformen und der Verarbeitbarkeit besteht, sollen die Auflistungen (Bilder 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.

je  $\text{cm}^3$  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.

### 1.3.1 Molekularmasse 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 Molekularmasse z.B. kann durch Spritzgießen nicht mehr verarbeitet, sondern nur noch gepresst oder gesintert werden.

### 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 Methoden.

### 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

#### 1.3.3.1 Fließverhalten der Thermoplaste

##### Schmelzindex

Die Messung des **Schmelzindex** ist nach DIN ISO 1133 genormt und kann bei fast allen unverstärkten 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 max. zulässigen Abbauwerte an. Speziell bei Kunststoffen, die vor der Verarbeitung vorgetrocknet werden müssen, sollte der Schmelzindex als Prüfung zur Qualitätssicherung verwandt werden.

### **Spiraltest**

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 Molekularmasse. 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 Molekularmasse errechnet werden (bei allen Polymeren möglich), aber auch der K-Wert, dem eine empirisch ermittelte Formel zugrunde liegt. K-Wert und Viskositätszahl sind in der DIN tabellarisch miteinander verglichen. Auch hier gilt: Je größer der K-Wert, desto größer die Molekularmasse.

#### **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.

### **Stäbchentest**

Der **Stäbchentest** ist ein Analogverfahren zum Schmelzindex. Tablettierte Formmasse wird dabei aus einer beheizten Kammer in einen Fließkanal gepresst. Die Länge des Stäbchens ist ein Maß für die Fließfähigkeit. Diese Prüfung ist genormt als Flow-Test nach ASTM-D-569.

### **Knetertest**

Beim **Knetertest** wird die Formmasse in einem beheizten Knetter plastifiziert und gehärtet. Dabei wird das benötigte Drehmoment des Antriebsmotors über der Zeit gemessen. Dieses Verfahren ist nicht genormt.

### **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 Kunststoffherstellern ermittelt und auf Wunsch dem Verarbeiter und Anwender mitgeteilt.

Überprüft der Verarbeiter diese Daten als Wareneingangsprüfung, so sind die Prüfungen nach den entsprechenden DIN-Normen vorzunehmen. Bei nicht genormten Prüfungen sind die Prüfgeräte untereinander abzugleichen.

Viele Hersteller von technischen Teilen verlangen zur Sicherstellung der Qualität vom Kunststoffhersteller ein umfassendes Prüfprotokoll.

# 2 Aufbereitung

## 2.1 Allgemeines

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.

E-PVC 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 Kunststoffzeugnisse eingesetzt.

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

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

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 Sieb-

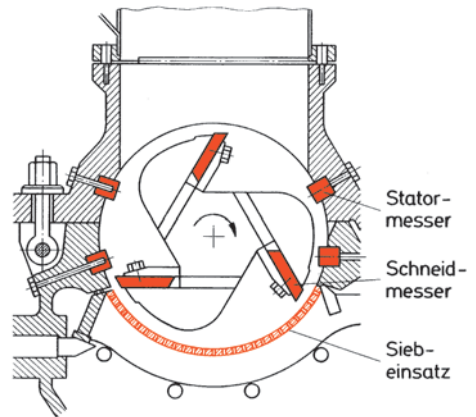


Bild 2.2 Schneidmühle

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

Bild 2.1 Zerkleinerungsmaschinen

boden 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.

### 2.3 Mischen

**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 in neuerer Zeit Mischgeräte (Bild 2.4) durchgesetzt, die direkt auf dem Trichter der Verarbeitungsmaschine angebracht werden. Diese Geräte besitzen **Volumendosiereinrichtungen** und einen **Mischapparat**. Durch zeitlich abgestimmte Verfahrensschritte, wie Dosieren – Übergabe in die Mischkammer – 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<sup>-1</sup> 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








Verfahren Maschine	diskontinuierlich						kontin.
	Rührwerk	Taumel- mischer	Schaufel- mischer	Wirbel- mischer	Mischknetter	Misch- walzwerk	Schnecken- knetter
Stoff- zustand							
▲ Rohstoffe ● Zuschlagstoffe							
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 Thermo- plaste

Bild 2.3 Misch- und Knetmaschinen

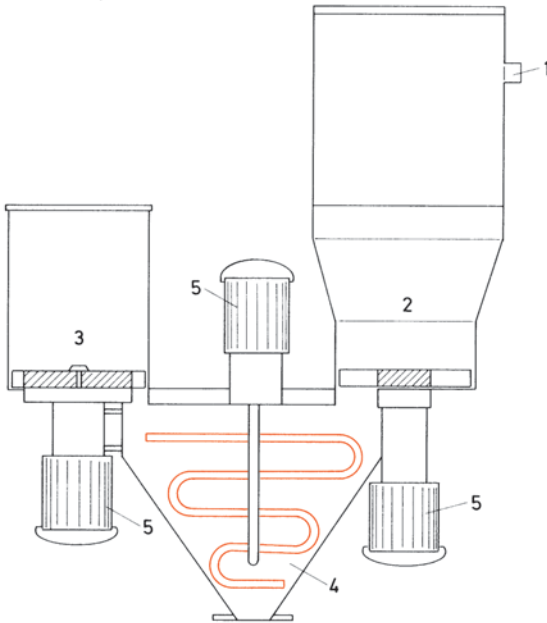


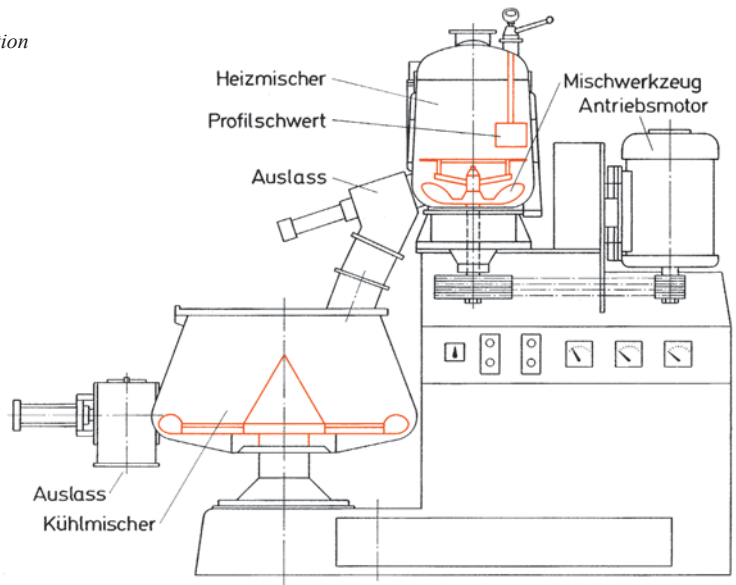
Bild 2.4 Farbmischgerät (nach Colortronic) 1 Materialzufuhr, 2 Dosierstation für Kunststoffformmasse, 3 Dosierstation für Farbmittel, 4 Mischkammer, 5 Antriebsmotoren

pulvrige Stoffe, denen aber auch flüssige Zuschläge beigegeben werden können.

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 Profilschwerer 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 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.

Bild 2.5 Heiz-/Kühlmischer-Kombination





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 Kühlwir-

kung. 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

Beim **Plastifizieren** wird die trocken vorge-mischte 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 **Knetzer** besteht aus einem horizontal angeordneten Trog, in dem sich zwei Z-förmige Knetarme gegeneinander bewegen. Beim sog. **Innenknetzer** (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 Knetzer entleeren. Der Energieumsatz in diesen Knetern ist sehr groß, so dass die Knetzer nur bis zu einem Kammervolumen von etwa 300 l gebaut werden. Das Einsatzgebiet für Knetzer 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 diese Abschnitte zur Mitte des Walzspaltes zu dirigieren. Für einige

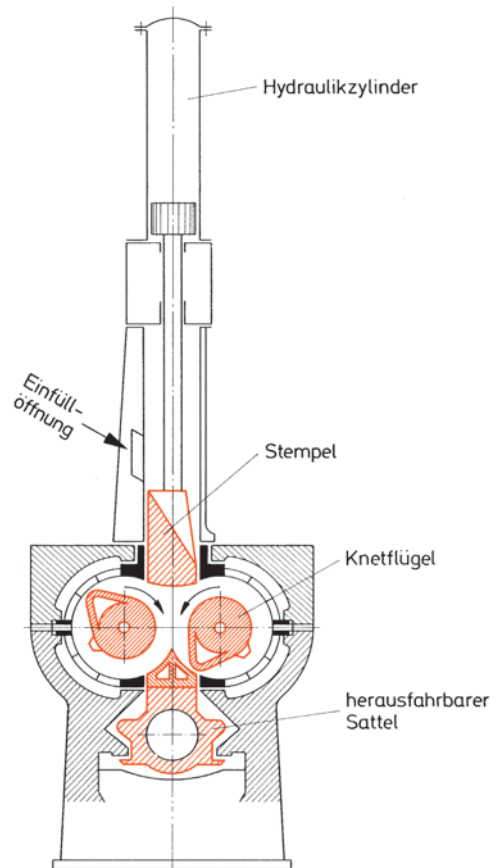
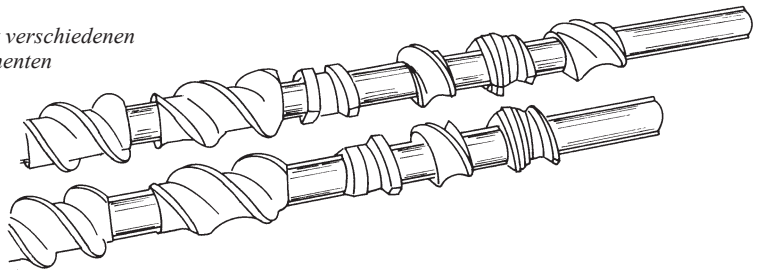


Bild 2.6 Innenknetzer

Bild 2.7  
Zweischnecken Aufbau mit verschiedenen  
Knet- und Schneckensegmenten



hochwertige PVC-Mischungen ist das Walzwerk heute noch ein nicht zu ersetzendes Plastifizieragregat.

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 **Doppelschnecken**system mit kämmdenden Schnecken die sich im Schneckenangabefindenden 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 Homogenisiererelementen 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

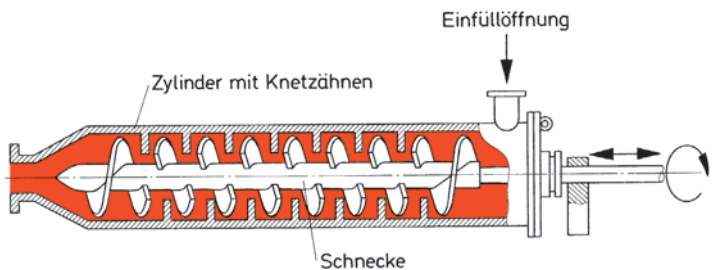
Schneckenbereich Knet- bzw. Mischelemente eingebaut.

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).

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.

In der Aufbereitungspraxis hat sich auch der **Planetwalzenextruder** (Bild 2.9) bewährt. Hierbei handelt es sich um eine Schneckenpresse, bei der im Mittelabschnitt des Schneckenzyllinders um

Bild 2.8  
Kokneter



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 Homogenisierereffekts 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.

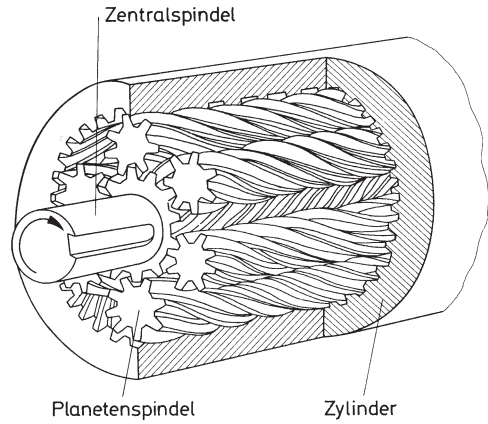


Bild 2.9 Planetenwalzensystem

## 2.5 Granulieren

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 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 kugelförmig 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

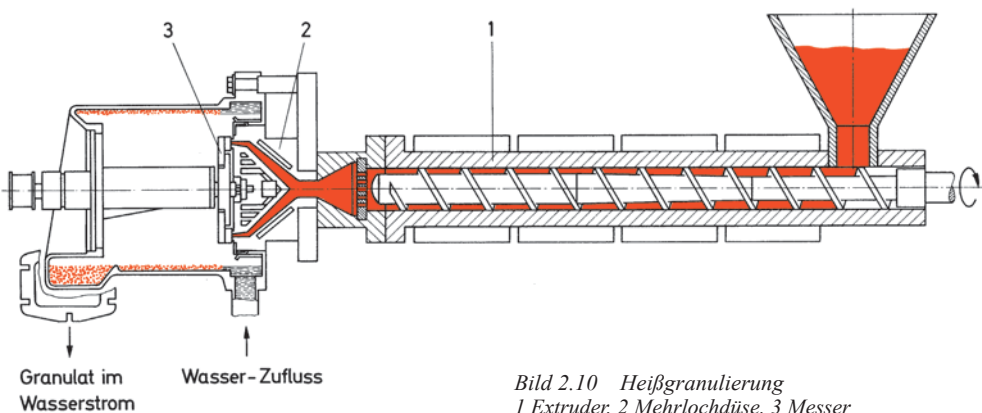


Bild 2.10 Heißgranulierung  
1 Extruder, 2 Mehrlochdüse, 3 Messer

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 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 **Stapel-lager** 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) 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 vorge-

schrieben, 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. Bei Überschreitung des Taupunktes der Luft – der etwa bei –30 °C liegt –, d.h., ist das Trockenmittel genügend mit Wasser gesättigt, schaltet das Gerät automatisch auf einen zweiten Trockenmittelbehälter um, so dass die Regeneration für den ersten erfolgen kann.

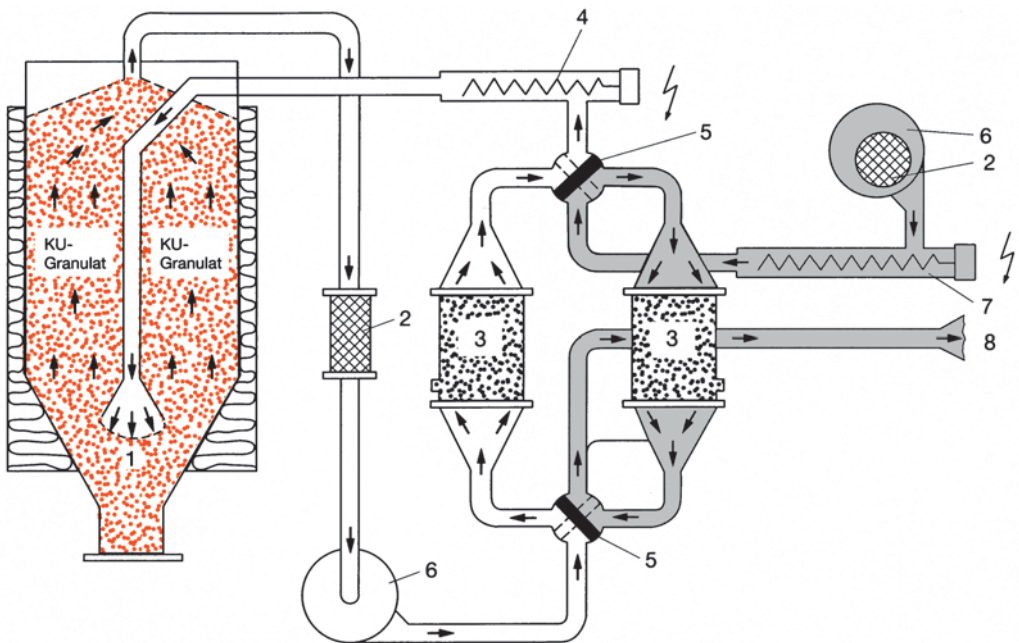


Bild 2.11 Trockenlufttrockner  
 1 Luftaustrittsdüse, 2 Mikrofilter, 3 Trockenmittelbehälter, 4 Trockenheizung, 5 Trennweiche, 6 Gebläse,  
 7 Regenerierheizung, 8 Abluftleitung

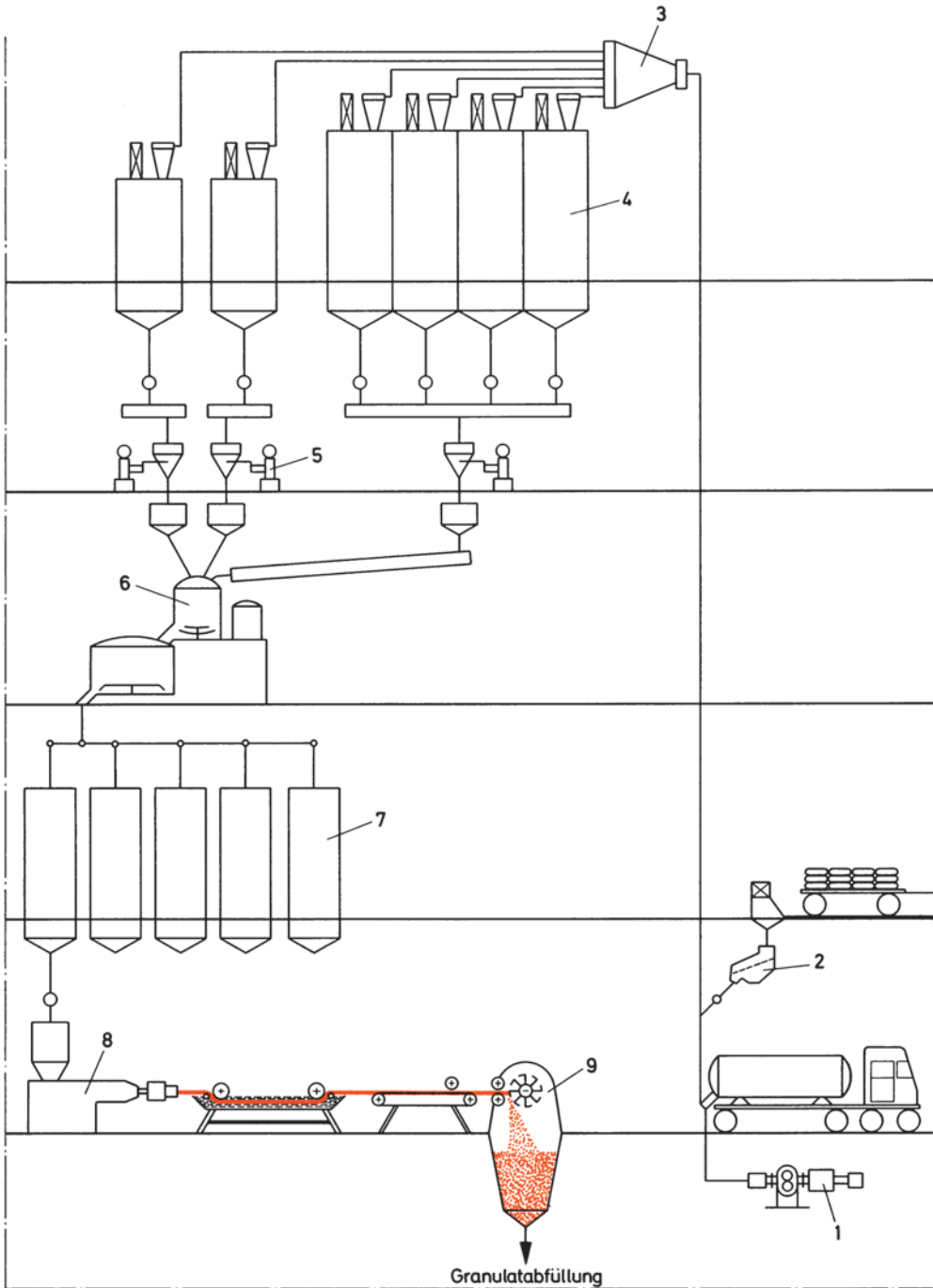


Bild 2.12 Schema einer Aufbereitungsanlage zum Herstellen von Granulat  
 1 Luftstromerzeuger, 2 Sackaufgabebereinrichtung, 3 Weiche, 4 Hauptsilo, 5 Waage, 6 Mischer, 7 Tagessilo, 8 Schneckenkneiter, 9 Granulator

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<sup>3</sup> eingesetzt. Der Transport dieser Kunststoffe von den Kunststoffherstellern zu den verarbeitenden Betrieben erfolgt überwiegend in großen 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 Saugförderereinrichtungen 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.

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. Sackaufgabereinrichtung 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.

# 3 Kalandrieren

## 3.1 Allgemeines

Unter **Kalandrieren** versteht man im Kunststoffbereich das Ausformen thermoplastischer Massen zwischen zwei bzw. mehreren Walzen zu einem endlosen Band.

Die Kalanderverarbeitung spielt speziell für die PVC-Folienherstellung eine überragende Rolle. Die PVC-Folie hat aufgrund ihrer guten Eigenschaften in vielen Bereichen u.a. für Büromaterial und als Dekorfolie sowie für Möbelbeschichtungen große Bedeutung erlangt und ist in harter und weicher Einstellung herstellbar. In der Regel werden 4 oder 5 Walzenkalandrierer eingesetzt. Man unterscheidet je nach Anordnung der Walzen zwischen **I-, L-, F- und Z-Kalandern** (Bild 3.1).

Welchem Kalandrierer man den Vorzug gibt, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Der **L-Kalandrierer** hat

den Vorteil, dass hier der erste Spalt für den Massedurchlauf unten liegt und dadurch auf bequemstem und kürzestem Weg beschickt werden kann. Deshalb setzt man ihn hauptsächlich für die PVC-hart-Verarbeitung ein. Nachteilig für den L-Kalandrierer ist, dass bei der Verarbeitung von PVC weich Weichmacherdämpfe zur Folie an die oberste Walze aufsteigen und die Qualität beeinflussen können. Aus diesem Grunde wählt man für die Herstellung von PVC-weich-Folien den Kalandrierer in **F-Form**. Das Einarbeiten von z.B. Gewebe- oder Kordbahnen in die Kunststoffschmelze erfolgt am zweckmäßigsten auf dem **Z-Kalandrierer**. Der **I-Kalandrierer** findet in der Kunststoffindustrie wegen der schlechten Beschickung kaum noch Verwendung.

Der übliche Dickenbereich bei Kalandriererfolien liegt bei 30 bis 800 µm. Nur Bodenbeläge können von speziellen Kalandriern als dickere Bahnen hergestellt werden.

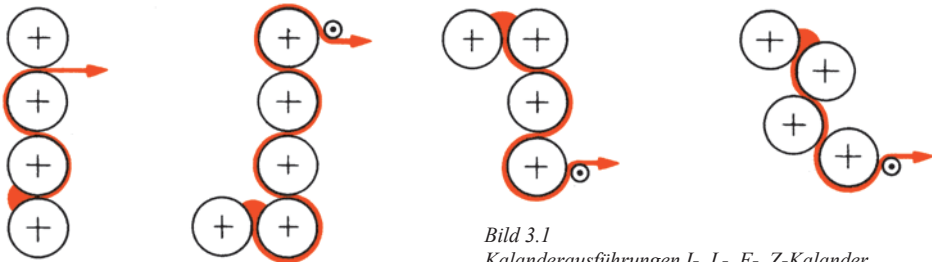


Bild 3.1  
Kalandriererausführungen I-, L-, F-, Z-Kalander

## 3.2 Kunststoffformmassen zum Kalandrieren

Im Prinzip sind alle Thermoplaste, die einen ausgeprägten plastischen Bereich und eine ausreichend hohe Viskosität besitzen, geeignet, auf dem Kalandrierer verarbeitet zu werden. In der Regel kommen nur die nachfolgend genannten Thermoplaste in Frage:

- PVC mit und ohne Weichmacher,
- Copolymere des VC,
- schlagzähes Polystyrol und ABS,
- Zelluloseester,
- Polyolefine.

Bei den Polyolefinen haben kalandrierte Folien aus Polyisobutylen für den Bausektor Bedeutung erlangt. Das Polyethylen galt lange Zeit als nicht kalandrierbar. Durch Zumischen bestimmter Additive ist es aber möglich, eine brauchbare Folie zu fertigen. Abgesehen davon ist aber die Folienherstellung durch das Extrudieren unproblematischer.

Die weitaus größte Bedeutung bei der Kalandrierverarbeitung haben das PVC hart und weich sowie die Copolymere des VC.

Das liegt hauptsächlich daran, dass das PVC im Gegensatz zu den meisten anderen Kunststoffen einen ausgeprägten **zähplastischen Schmelzbereich**

besitzt. Folien aus PVC lassen sich nach keinem anderen Verfahren so wirtschaftlich herstellen.

### 3.3 Aufbau des Kalenders

Die achsenparallel angeordneten Walzen sind in einem stabilen Rahmen untergebracht und laufen in Rollenlagern. Dadurch ist eine ausreichende Rundlaufgenauigkeit gegeben. Die Abstände der einzelnen Walzen zueinander, d.h. die **Walzspalte**, lassen sich sehr genau einstellen. Die verlängerten Walzenachsen besitzen auf der einen Seite je einen **Rotaryanschluss** zur Zuführung des Heizmediums, auf der anderen Seite sind sie mit den Abtriebsachsen des Getriebeblocks gekoppelt. Jede Walze wird durch einen stufenlos steuerbaren Gleichstrommotor angetrieben. Die Motoren sind mit dem Getriebeblock direkt verbunden (Bild 3.2). Die Walzen müssen einerseits zur Aufnahme der hohen Spaltkräfte eine hohe Kernfestigkeit und Zähigkeit aufweisen, andererseits besitzen sie eine extrem verschleißfeste Oberfläche. Daher stellt man sie aus Verbundguss oder als Stahlwalze mit flammgehärteter Oberfläche her. Die Oberflächenhärte beträgt etwa 500 bis 550 HB. Die Walzenoberfläche wird entweder bis zu Rautiefen von 0,1 µm feinstgeschliffen, um eine gewisse Griffigkeit der Walzen zu erzielen, oder sie wird bis 0,01 µm Rautiefe hochglanzpoliert. Es kommen bei starker chemischer Beanspruchung – z.B. bei speziellen PVC-Rezepturen – auch hartverchromte Walzen zum Einsatz. Bei einem Produktionskalender betragen die gängigen Walzenabmessungen 600 bis 800 mm für den Durchmesser und bis zu 2500 mm für die Länge der Walzen.

Während der Verarbeitung entstehen in den Walzspalten große Kräfte, die ein Durchbiegen der Walzen verursachen und die Foliendicke über die zulässige Maßabweichung verändern können.

Eine Kompensation der Durchbiegung lässt sich durch mehrere Möglichkeiten erreichen. So kann man einerseits durch **Schrägverstellung** und andererseits durch **Gegenbiegung** der Walzen eine Korrektur vornehmen (Bild 3.3).

Bei der Schrägverstellung wird heute üblicherweise die Achse der vorletzten Walze gegenüber den Achsen der anderen Walzen versetzt. Dadurch erreicht man, dass der Spalt an den Walzenenden größer als in der Mitte ist.

Die Gegenbiegung (**roll bending**) wird an der letzten Walze vorgenommen. Das geschieht durch hydraulische Kräfte, die auf Hilfslager an den verlängerten Walzenzapfen einwirken.

Diese beiden Maßnahmen sind meist noch nicht ausreichend, so dass eine weitere Korrektur durch ein **Profilschleifen** der letzten beiden Walzen im aufgeheizten Zustand erfolgt (**Bombage**). Damit liegen die Toleranzgrenzen bei heiß geschliffenen Walzen heute bereits unter 5 µm.

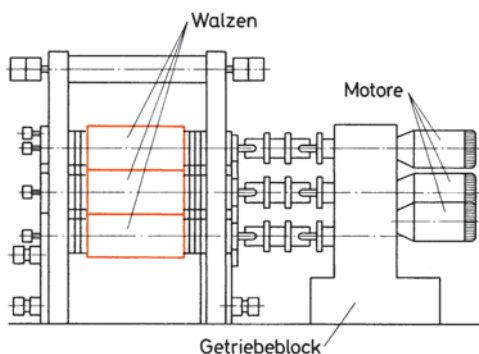


Bild 3.2 Kalender

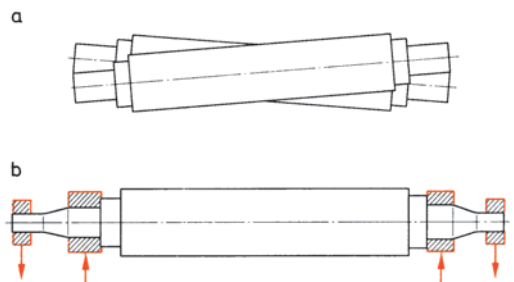


Bild 3.3 Korrekturmaßnahmen gegen die Walzendurchbiegung  
a Schrägverstellung, b Walzenbiegung



### 3.4 Aufbau der Kalandersstraße und Verfahrenstechnik

In der eingangs formulierten Definition ist das Kalandrieren ein Formgebungsvorgang. Der Kalanderselbst sollte dabei nur die Verformungsarbeit vornehmen und möglichst wenig zur Plastifizierung der Kunststoffformmasse beitragen. Der Kalanderselbst ist eine derart teure Maschine, dass es unwirtschaftlich wäre, ihn auch noch für Plastifizierungsaufgaben heranzuziehen. Daher ist es erforderlich, mehrere Maschinen zur **Aufbereitung** der Kunststoffformmasse in die Anlage einzubeziehen, so dass die Herstellung eines endlosen Bandes in wirtschaftlich optimaler Weise vorgenommen werden kann. Grundsätzlich gehört zur PVC-Verarbeitung auf dem Kalanderselbst auch die Aufbereitung.

Damit gliedert sich die Verarbeitung von PVC zu einer Folie in die zwei Verfahrensabschnitte:

1. **Kunststoffaufbereitung mit Vorplastifizierung**
2. **Folienformung**

Am Anfang einer Kalandersstraße steht die Herstellung einer trockenen Mischung von PVC mit den entsprechenden Zuschlägen. Hierzu als Beispiel je eine **Richtrezeptur für PVC hart und weich**.

PVC-Richtrezepturen für Folien:

Komponenten	PVC hart	PVC weich
PVC-S oder -E	100 Teile	100 Teile
Weichmacher	–	50 Teile
Stabilisator	2 Teile	1,5 Teile
Gleitmittel	1,5 Teile	0,5 Teile
Pigment	2 Teile	2 Teile

Die vom **Mischer** kommende Pulvermischung wird danach durch Plastifizieren in eine **homogene Schmelze** überführt. Dafür sind kontinuierlich als auch diskontinuierlich arbeitende Maschinen im Einsatz. Meistens sind mehrere hintereinandergeschaltet.

Diskontinuierlich arbeitende Maschinen sind der **Innenknetter** und das **Mischwalzwerk**. Zweckmäßiger ist es, die Vorplastifizierung kontinuierlich erfolgen zu lassen, weil dadurch gewährleistet ist, dass dem Kalanderselbst homogenes plastifiziertes Material mit gleichbleibendem Aufschmelzgrad, definierter Temperatur und definierter Vorgeschichte zugeführt wird. Das wirkt sich günstiger für die Folienqualität aus. Die Gleichmäßigkeit der Arbeitsbedingungen zur Folienherstellung ist hierbei auch besser gewährleistet.

Als kontinuierlich arbeitende Aufbereitungsmaschinen werden ausschließlich **Schneckenaggregate**

eingesetzt, wobei der Homogenisierung der Kunststoffformmasse besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Durch entsprechende Knet- und Mischelemente im Homogenisierungsbereich der Schnecke wird dem Rechner getragen (siehe auch Kapitel 2).

Von der Vorplastifizierung wird in den meisten Fällen die Kunststoffformmasse über ein Förderband auf ein **Walzwerk** übergeben. Dieses dient neben der weiteren Homogenisierung einmal als Puffer, zum anderen findet eine Entgasung der Masse statt. Der Walzspalt ist nicht parallel eingestellt, so dass die aufgebene Kunststoffschmelze von einem Walzenende über den Walzspalt zum anderen Ende der Walze wandert. An dieser Stelle nimmt man durch rotierende Messer einen Streifen ab und führt ihn kontinuierlich dem Kalanderselbst zu. Das Zuführen geschieht durch ein **schwenkbares Transportband**, das den Kalanderselbst gleichmäßig beschickt. Die zugeführte Menge ist so bemessen, dass nur so viel angeliefert wird, wie vom Kalanderselbst verarbeitet werden kann. Sonst würde eine teilweise oberflächliche Abkühlung der Masse zur Qualitätsminderung der Folie führen.

Zweckmäßig ist es, im Bereich des Transportbandes ein **Metallsuchgerät** einzubauen, um eventuell eingebettete Metallteile aufzuspüren, weil diese sonst die Walzenoberfläche beschädigen würden. Vielfach wird auch zwischen Walzwerk und Kalanderselbst eine Schneckenpresse, der sog. **Strainer** (engl. = Sieb), geschaltet, der nur die Aufgabe hat, eventuell vorhandene Eisenteile aus der Kunststoffformmasse herauszufiltern. Dazu ist die Austrittsöffnung der Schneckenpresse mit einem Siebpaket versehen.

Die dem Kalanderselbst angelieferte Kunststoffformmasse bildet normalerweise vor dem ersten Walzspalt einen **Wulst (Knet)**, bevor sie den Walzspalt durchfließt (Bild 3.4). Dieser Wulst, der aus mehreren überlagernden **Knetwirbeln** besteht, breitet sich im Walzspalt seitlich aus. Damit die Kunststoffformmasse nicht von der Walze abfließt, sind auf beiden Seiten Begrenzungsbacken angebracht. Die Masse umschlingt nach dem Durchgang durch den Walzspalt die schneller laufende Walze, bis sie

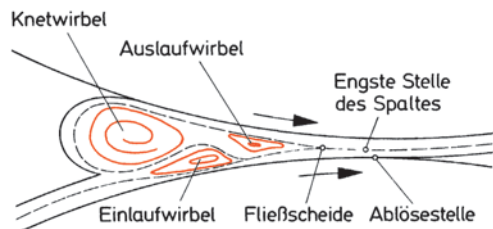


Bild 3.4 Strömungsverlauf in Walzrichtung

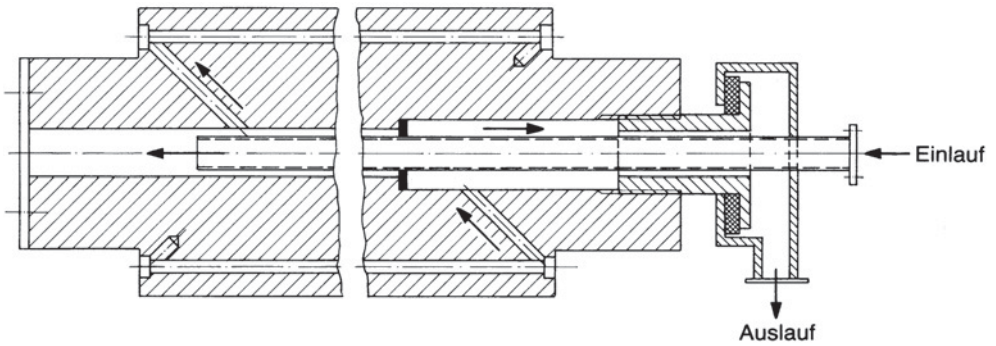


Bild 3.5 Kalandervalze mit Bohrungen für Heizmedium

den nächsten Walzspalt erreicht. Auch hier und vor allen folgenden Walzspalten wird mit einem Knet gearbeitet. So gelangt die ausgewalzte Folie bis zur letzten Walze und wird dann abgezogen. Damit sichergestellt ist, dass die Folienbahn von der einen Walze auf die nächstfolgende übergeben wird, laufen die nachfolgenden Walzen mit geringfügig höherer Geschwindigkeit.

Eine sehr gute **Temperaturkonstanz** ist sowohl längs der Walzen als auch am Umfang erforderlich, weil größere Temperaturunterschiede auch zu veränderten Walzendurchmessern führen. Die Beheizung erfolgt mit heißem Druckwasser, das durch Bohrungen, die sich nur ca. 50 mm unter der Walzenoberfläche befinden, fließt (Bild 3.5).

Bei der PVC-hart-Folienfertigung wird nach zwei verschiedenen Verfahren unterschieden, und zwar dem **Hochtemperatur- (HT)** und dem **Normaltemperaturverfahren (NT)** mit thermischer Nachbehandlung.

Beim HT-Verfahren liegen die Verarbeitungstemperaturen für PVC sehr hoch, nämlich bei 180 bis 220 °C. Die PVC-Schmelze ist hierbei relativ niederviskos, so dass sich ein Knet vor dem Walzspalt abrollt.

Wegen der hohen Temperaturbeanspruchung des PVC muss die Mischung optimal gegen thermischen Abbau stabilisiert sein.

Beim NT-Verfahren oder Luvithermverfahren® werden die PVC-hart-Folien bei relativ niedrigen Temperaturen von 160 bis 180 °C auf dem Kalandrier gefertigt und anschließend einer thermischen Nachbehandlung unterzogen. Die auf dem Kalandrier nicht ganz aufgeschmolzene Folie gelangt für kurze Zeit über eine nachgeschaltete hochbeheizte Walze und erhält hier die nötige Wärme, um eine homogene Folie zu werden. Für das NT-Verfahren setzt man PVC-Typen mit höherem K-Wert ein, wodurch die erhaltenen PVC-Folien verbesserte

mechanische Eigenschaften gegenüber anderen aufweisen.

Da das Verfahren gegenüber dem HT-Verfahren aufwendiger ist, wird es nur für hoch beanspruchte Folien – z.B. Klebebänder – herangezogen.

Die Verarbeitungstemperaturen bei PVC-weich-Folien liegen zwischen 150 und 190 °C.

Nach Abnahme der Folienbahn von der letzten Kalandrierwalze durch 5 oder 6 separat angetriebene Abzugswalzen kann durch geeignete Wahl des Temperatur- und Geschwindigkeitsprogramms eine **Verstreckung** im **thermoplastischen** oder eine **Reckung** im **thermoelastischen** Bereich erfolgen.

Das Ziehverhältnis liegt bei ungereckten PVC-hart-Folien bei 1 : 2, bei gereckten etwa bei 1 : 4 und bei PVC-weich-Folien bis zu 1 : 3,5.

Die Reckung zu sehr dünnen PVC-hart-Folien bis zu 50 µm wird mit einer nach dem Kalandrier eingerichteten Längenreckvorrichtung (Bild 3.6) durchgeführt.

Es lässt sich für dekorative Einsatzgebiete «online» eine **Prägung** der Folie mit gekühlter Prägwalze und gummibeleger Gegenwalze im thermoplastisch-thermoelastischen Übergangsbereich erzielen.

Die Folienbahn wird danach mit großem Umschlingungswinkel über mehrere **Kühlwalzen** geführt und auf eine Temperatur von 25 °C heruntergekühlt. Die Folienränder schneidet man durch Messerwalzen ab und führt sie dem Mischwalzwerk wieder zu. Über eine der letzten Kalandrierwalzen nachgeschaltete **Dickenmesseinrichtung** mittels **β-Strahler** werden Korrekturmöglichkeiten für den letzten Walzspalt aufgezeigt.

Am Ende der Kalandrierstraße (Bilder 3.6 und 3.7) wird die Folie mit gleichbleibender Geschwindigkeit aufgewickelt. Dafür werden spezielle Antriebe mit Drehmomentwandler und drehzahlgesteuerten Motoren eingesetzt. Moderne Wickler sind als **Dreifach-Wendewickler** aufgebaut, d.h., die drei Wickelachsen schwenken jeweils im Wechsel in die Positionen 1. Wickeln, 2. Abnahme des Wickelballens, 3. Aufnahme der neuen Wickelhülse. Das Umschwenken zur nächsten Position erfolgt über