

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Entwicklung und Wirtschaft</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung	1
1.2 Verarbeitung in der Vorkunststoffzeit	2
1.2.1 Handwerkliche Grundlagen	2
1.2.2 Maschinen aus anderen Verarbeitungsbereichen	2
1.3 Entwicklung kunststoffspezifischer Verarbeitungsmethoden	3
1.3.1 Stand der Verarbeitungstechnik um 1910	3
1.3.2 Herstellung von Gummiwaren durch Vorkonfektionierung	4
1.3.3 Direkte spanlose Formung von Teilen	5
1.3.4 Profil- und Rohrherstellung sowie Kabelummantelung	6
1.3.5 Fasererzeugung	7
1.4 Der Einfluß der technischen Entwicklung auf die Kunststoffverarbeitung und -einführung	8
1.4.1 Verarbeitungsentwicklung bei den Kunststoffherstellern	9
1.4.2 Beispiele	9
1.4.3 Auswirkungen der Verarbeitungsentwicklung am Beispiel der Spritzgießmaschinen	11
1.5 Erzeugung von Maschinen und Anlagen für die Kunststoffverarbeitung	13
1.6 Die kunststoffverarbeitende Industrie	14
1.7 Kosten der Verarbeitung	16
1.8 Zukunft der Kunststoffverarbeitung	17
1.8.1 Neue, schwer verarbeitbare Kunststoffe	17
1.8.2 Effektivere Herstellung komplexer Makroaufbauarten	18
1.8.3 Anpassung der Verarbeitung an die Anwendungstechnik	19
1.8.4 Die Wiederverarbeitung	21
1.8.5 Maschinen- und steuerungstechnische Entwicklungen	22
1.9 Ausblick	23
<b>2. Verfahren und Techniken, Überblick und Grundlagen</b>	<b>24</b>
2.1 Einleitung	24
2.2 Verarbeitungsverfahren	24
2.2.1 Stoffbildung und Formung	25
2.2.2 Systematik der Verarbeitungsverfahren	27
2.2.3 Zusammenhang mit anderen Einteilungen der Fertigungsmöglichkeiten	27
2.3 Chemische Stoffbildung bei der Verarbeitung	28
2.3.1 Polyreaktionen	28
2.3.2 Chemische Vernetzung	29
2.3.3 Ablauf von Polyreaktionen und Vernetzungen	29
2.4 Physikalische Stoffbildung	32
2.4.1 Filmbildung	32
2.4.2 Weichmachung	34
2.4.3 Physikalische Vernetzung	35

2.5	Fließvorgänge bei der Verarbeitung	35
2.5.1	Viskositätsverhalten	35
2.5.2	Laminare und turbulente Strömung	38
2.5.3	Schmelzbrucheffekte	40
2.5.4	Optimale Einstellung der Strömung	40
2.6	Thermodynamische Betrachtungen zur Verarbeitung	41
2.6.1	Die thermodynamische Zustandsgleichung	42
2.6.2	Plastifizierung durch Wärmeleitung und Scherung	44
2.6.3	Abkühlung geformter Kunststoffzeugnisse	49
2.6.4	Formung	49
2.6.5	Einflüsse auf Eigenschaften und Struktur	51
2.7	Technologien der Verarbeitungsverfahren	53
2.7.1	Verarbeitungstemperaturen	53
2.7.2	Verarbeitungsdrücke	55
2.7.3	Verarbeitungsmaschinen und -systeme	56
2.7.4	Handwerkliche und industrielle Verarbeitung	58
2.8	Mischverfahren und Fördermethoden	62
2.8.1	Das Mischen und seine Durchführung	62
2.8.2	Bedeutung der Transportvorgänge	65
2.8.3	Überblick über die Fördertechniken	67
2.9	Ausblick	68
<b>3.</b>	<b>Verarbeitung mit Polyreaktion</b>	<b>69</b>
3.1	Einleitung	69
3.2	Verfahrensprinzip	70
3.3	Durchführungsmöglichkeiten	71
3.4	Einbau der Polyreaktion	73
3.4.1	Vorbereitung der Reaktionsmischung	73
3.4.2	Einleitung der Reaktion	74
3.4.3	Reaktionsführung	76
3.4.4	Abstimmung der Reaktionszeit auf die Verarbeitung	76
3.5	Variationsmöglichkeiten des Werkstoffaufbaus	77
3.5.1	Festlegung des Makroaufbaus	77
3.5.2	Auswirkungen des unterschiedlichen Makroaufbaus	79
3.5.3	Füll- und Verstärkungsstoffe, Schaumstoff-Füllgase	80
3.6	Maschinen- und Anlagentechnik	81
3.6.1	Gießanlagen	81
3.6.2	Anlagen zur Herstellung von faser- und gewebeverstärkten Teilen	84
3.6.3	Verbundherstellung	86
3.7	Erzeugnisse und Anwendungsgebiete	88
3.7.1	Teile mit unterschiedlichem Makroaufbau	88
3.7.2	Die Bedeutung der Ausgangsstoffe	89
3.7.3	Anwendungsgebiete	91
3.8	Zukünftige Entwicklung	94
3.8.1	Derzeitige Situation als Ausgangsbasis	94
3.8.2	Entwicklungslinien	94
3.9	Ausblick	95
<b>4.</b>	<b>Verarbeitung aus Lösungen und Dispersionen</b>	<b>97</b>
4.1	Einleitung	97
4.2	Verfahrensprinzip	98
4.3	Durchführungsmöglichkeiten	100
4.4	Lösungen und Dispersionen	103
4.4.1	Lösungen	103
4.4.2	Dispersionen	104
4.4.3	Der unterschiedliche Einsatz von Lösungen und Dispersionen	104

4.5	Werkstoffaufbau aufgrund von Lösungs- bzw. Dispersionszusammensetzung	106
4.5.1	Auswahl des Kunststoffes	107
4.5.2	Abstimmung von Lösungs- bzw. Dispergiemittel mit den Zumischstoffen	107
4.6	Maschinen- und Anlagentechnik	110
4.6.1	Aufbringung und Formung	110
4.6.2	Trocknung und Entlüftung	114
4.7	Erzeugnisse und Anwendungsgebiete	115
4.7.1	Teile mit unterschiedlichem Makroaufbau	116
4.7.2	Folien, Fasern und spezielle Teile	117
4.7.3	Schutz- und Isolierschichten sowie flächenhafte Verbundelemente	120
4.8	Zukünftige Entwicklung	123
4.9	Ausblick	123
<b>5.</b>	<b>Urformen von thermoplastischen Schmelzen</b>	<b>125</b>
5.1	Einleitung.	125
5.2	Verfahrensprinzip	126
5.3	Durchführungsmöglichkeiten	128
5.4	Zusammenspiel von Plastifizierung und Formung	130
5.4.1	Plastifizierung	130
5.4.2	Urformung.	133
5.5	Werkstoffaufbau	135
5.5.1	Makroaufbau und Mischungszusammensetzung	135
5.5.2	Schaumstoff- und Strukturschaumstoffteile	138
5.5.3	Vernetzung zu Duromeren und Elastomeren	139
5.5.4	Zur Wahl des Kunststoffaufbaus	139
5.6	Maschinentechnik	140
5.6.1	Pressen	141
5.6.2	Spritzgießmaschinen.	142
5.6.3	Extruder.	144
5.6.4	Kalander	146
5.6.5	Schleuderguß, Flammsspritzen und Oberflächenbesintern	148
5.7	Erzeugnisse und Anwendungsgebiete	148
5.7.1	Teile mit unterschiedlichem Makroaufbau	152
5.7.2	Fertigteile	153
5.7.3	Halbzeuge	155
5.8	Zukünftige Entwicklung	156
5.8.1	Integrierte Herstellung komplexer Makroaufbauarten	156
5.8.2	Wirtschaftliche Aspekte	156
5.9	Ausblick	158
<b>6.</b>	<b>Umformen von thermoplastischem Halbzeug</b>	<b>159</b>
6.1	Einleitung.	159
6.2	Verfahrensprinzipien	160
6.2.1	Unterschied zwischen Urformen und Umformen	160
6.2.2	Warmformen und Recken	162
6.2.3	Schrumpfen gereckter Halbzeuge	165
6.3	Durchführungsmöglichkeiten	166
6.3.1	Warmformen: Pressen, Tiefziehen, Blasformen	168
6.3.2	Recken (Verstrecken)	169
6.3.3	Schrumpfen und Aufschrumphen	170
6.4	Zusammenspiel von Verfahrensschritten	171
6.4.1	Kombination von Urformen und Umformen	171
6.4.2	Einbau von Vernetzungsreaktionen	172
6.4.3	Warmformen mit Vorrecken	173
6.5	Werkstoffaufbau	176
6.5.1	Umformung von Thermoplasten verschiedenen Makroaufbaus	176
6.5.2	Auswirkungen von Makromolekülorientierungen	177

6.6	Maschinentechnische Möglichkeiten	179
6.6.1	Platten- und Folienwarmumformmaschinen	179
6.6.2	Blasumformmaschinen zur Herstellung von Hohlkörpern	183
6.6.3	Reck- und Schrumpfanlagen	183
6.7	Erzeugnisse und Anwendungsgebiete	187
6.8	Zukünftige Entwicklung	195
6.9	Ausblick	196
<b>7.</b>	<b>Mechanische Bearbeitung</b>	<b>197</b>
7.1	Einleitung	197
7.2	Verfahrensprinzip	198
7.3	Durchführungsmöglichkeiten	201
7.4	Bearbeitungswirkung und Folgerungen	203
7.4.1	Vorgänge bei der Bearbeitung	204
7.4.2	Eigenschaftsveränderungen	207
7.5	Maschinen- und Werkzeugtechnik	208
7.5.1	Verarbeitungsbedingungen und Werkzeugausbildung	208
7.5.2	Maschinen zum Trennen	210
7.5.3	Schleifen und Polieren	212
7.6	Erzeugnisse und Anwendungsgebiete	213
7.6.1	Ergänzung spanloser Verarbeitungen	213
7.6.2	Herausgearbeitete Teile	215
7.7	Behandlung des abgetragenen Werkstoffes	217
7.8	Zukünftige Entwicklung	218
7.9	Ausblick	219
<b>8.</b>	<b>Fügen</b>	<b>220</b>
8.1	Einleitung	220
8.2	Verbindungsarten und ihre Verfahrensprinzipien	220
8.2.1	Stoff-, form- und kraftschlüssige Verbindungen	221
8.2.2	Verfahrensprinzip des Klebens	222
8.2.3	Verfahrensprinzip des Schweißens	223
8.2.4	Verbinden durch Form- und Kraftschluß	224
8.3	Durchführungsmöglichkeiten	225
8.3.1	Kleben	225
8.3.2	Schweißen	228
8.3.3	Fügen mit Form- und Kraftschluß	229
8.4	Gestaltung der Verbindungen	229
8.4.1	Verbindung als Hilfsbaustein im System	230
8.4.2	Integration der Verbindung ins Teil und seine Herstellung	231
8.4.3	Gestaltung der Verbindung in verarbeitungstechnischer Hinsicht	232
8.5	Die Tragfähigkeit der Verbindungen	233
8.5.1	Kleben	233
8.5.2	Schweißen	235
8.5.3	Form- und Kraftschluß	236
8.5.4	Kombination von Verbindungsarten	236
8.5.5	Plastische Verformungen beim Fügen	237
8.6	Maschinen- und Anlagentechnik	240
8.6.1	Vorrichtungen und Maschinen zum Kleben	240
8.6.2	Schweißmaschinen	243
8.6.3	Vorrichtungen für Form- und Kraftschluß	247
8.7	Erzeugnisse und Anwendungsgebiete	248
8.7.1	Klebstoffe und Klebeanwendungen	248
8.7.2	Geschweißte Erzeugnisse	253
8.7.3	Form- und Kraftschlußverbindungen in Erzeugnissen	254
8.8	Zukünftige Entwicklung	255
8.9	Ausblick	256

<b>9. Kunststoffverarbeitung in der Praxis</b>	257
9.1 Einleitung	257
9.2 Ausgangskunststoff und Erzeugnis	258
9.2.1 Der wirksame Formungsdruck	258
9.2.2 Maschinen- und Formabhängigkeit der Fließvorgänge	260
9.2.3 Fließweglängen verschiedener Verarbeitungsverfahren	262
9.2.4 Auswirkungen auf die Teilegestalt	264
9.3 Kunststoffverarbeitung als Summe zahlreicher Verarbeitungsschritte	264
9.3.1 Verarbeitungstechnik	264
9.3.2 Integrationsgrad und Automatisierung	266
9.4 Auswahl der Fertigungsmethode	268
9.4.1 Verschiedene Fertigungsmethoden für das gleiche Erzeugnis	268
9.4.2 Technische Auswahlkriterien	270
9.4.3 Fertigungskosten	272
9.4.4 Wirtschaftliche Bewertung der Verarbeitung	273
9.4.5 Wirtschaftliche Auswahlkriterien	275
9.5 Verarbeitungsplanung	277
9.5.1 Heutige Situation in der Praxis	277
9.5.2 Planungsablauf in der Kunststoffindustrie	278
9.5.3 Folgerungen	279
9.6 Zukünftige Entwicklung	279
9.7 Ausblick	281
<b>Bibliographie</b>	283
<b>Sachverzeichnis</b>	289

## Inhaltsübersicht Band 1: Aufbau und Eigenschaften

1. Geschichte und Wirtschaft
2. Der Aufbau der Kunststoffe
3. Kunststoffzusammenhalt
4. Kunststoffbestimmung mit einfachen Mitteln
5. Mechanische Eigenschaften
6. Wärmetechnische Eigenschaften
7. Optische, elektrische und akustische Eigenschaften
8. Chemische Eigenschaften
9. Kunststoffeigenschaften beim Einsatz
Kunststoff-Überblick
Bibliographie
Sachverzeichnis