

# Inhalt

Die Autoren der 11. Auflage .....	V
Vorwort zur 11. Auflage .....	VII
Vorwort zur 1. Auflage .....	IX
<b>TEIL I Aufbau und Verhalten von Kunststoffen .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
1.1 Ausgangsstoffe, Kennzeichnung und Einteilung .....	3
1.2 Besonderheiten des Kohlenstoffatoms .....	4
1.3 Strukturen von Makromolekülen .....	6
<b>2 Bildung von Makromolekülen .....</b>	<b>9</b>
2.1 Bildungsreaktionen .....	9
2.2 Innere Kräfte in Molekülsystemen .....	13
2.3 Polymerisationsgrad, Vernetzungsgrad .....	15
<b>3 Strukturen von thermoplastischen Kunststoffen .....</b>	<b>17</b>
3.1 Orientierung von Makromolekülen .....	17
3.2 Kristallinität .....	18
3.3 Überstrukturen .....	20
<b>4 Polymerkombinationen .....</b>	<b>21</b>
4.1 Copolymerisation, Pfropfpolymerisation .....	21
4.2 Polymerblends, Polymerlegierungen, Kunststoffmischungen .....	22

<b>5</b>	<b>Zusatzstoffe</b>	<b>25</b>
5.1	Füllstoffe und Verstärkungsstoffe	26
5.2	Stabilisatoren	27
5.3	Farbmittel	28
5.4	Weichmacher und Flexibilisatoren	29
5.5	Flammschutzmittel	30
5.6	Leitfähige Zusatzstoffe	30
5.7	Treibmittel	31
<b>6</b>	<b>Verhalten von Kunststoffen</b>	<b>33</b>
6.1	Mechanisches Verhalten	34
6.2	Thermisches Verhalten	37
6.3	Elektrisches Verhalten	40
6.4	Verhalten gegen Umwelteinflüsse	40
6.5	Wasseraufnahme	41
6.6	Permeation	41
6.7	Reibung und Verschleiß	41
<b>7</b>	<b>Verarbeiten von Kunststoffen</b>	<b>43</b>
7.1	Urformen	43
7.1.1	Urformen von Thermoplasten	43
7.1.2	Urformen von Duroplasten	47
7.1.3	Urformen von Elastomeren	49
7.2	Umformen von Thermoplasten	49
7.3	Nachbehandlungen	51
7.4	Fügen	52
7.5	Oberflächenbehandlungen	53
7.6	Spangebende Bearbeitung	53
7.7	Schäumen	54
<b>8</b>	<b>Kunststoffe – Umwelt und Recycling</b>	<b>55</b>
	<i>Bearbeitet von Professor Dr. Georg Clauss, Hochschule Heilbronn</i>	
8.1	Kunststoffe und Umwelt	57
8.2	Kunststoff-Recycling und -Verwertung	58

8.3	Werkstoffliches Recycling .....	59
8.3.1	Definitionen beim werkstofflichen Kunststoff-Recycling .....	60
8.3.2	Voraussetzungen beim werkstofflichen Recycling .....	62
8.3.3	Notwendigkeiten beim werkstofflichen Recycling .....	64
8.4	Rohstoffliches Recycling von Kunststoffen .....	66
8.5	Energetische Verwertung .....	69
<b>TEIL II Kunststoffe als Werkstoffe .....</b>		<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Kennzeichnung und Normung von Kunststoffen .....</b>	<b>73</b>
9.1	Allgemeine Kennzeichnung von Kunststoffen .....	74
9.2	Aufbau einer Normbezeichnung für thermoplastische Formmassen ..	79
9.3	Normung von Duroplasten .....	84
9.4	Kennzeichnung und Normung von Elastomeren .....	89
9.4.1	Kennzeichnung von vernetzten Elastomeren .....	89
9.4.2	Kennzeichnung von thermoplastischen Elastomeren TPE ...	91
<b>10</b>	<b>Thermoplaste .....</b>	<b>93</b>
10.1	Polyolefine .....	93
10.1.1	Polyethylen PE .....	93
10.1.1.1	Polyethylen-Spezialsorten .....	98
10.1.2	Polypropylen PP .....	102
10.1.2.1	Polypropylen-Spezialsorten .....	106
10.1.3	Spezielle Polyolefine .....	107
10.1.3.1	Polybuten-1 PB-1 .....	108
10.1.3.2	Polymethylpenten PMP .....	109
10.2	Vinylchlorid-Polymerisate .....	110
10.2.1	Polyvinylchlorid PVC .....	110
10.2.2	Weichmacherfreies Polyvinylchlorid PVC-U (Hart-PVC) .....	112
10.2.3	Polyvinylchlorid mit Weichmacher PVC-P (Weich-PVC) .....	115
10.3	Styrol-Polymerisate .....	118
10.3.1	Polystyrol PS .....	119
10.3.2	Schlagzäh modifiziertes Polystyrol PS-I (Styrol-Butadien SB)	122
10.3.3	Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat SAN .....	125
10.3.4	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerisate ABS .....	127
10.3.5	Schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmassen ASA, AEPDS, ACS .....	130

10.4	Celluloseester CA, CP, CAB .....	133
10.5	Polymethylmethacrylat PMMA .....	136
10.6	Polyamide PA .....	141
10.7	Polyoxymethylene (Polyacetale) POM .....	151
10.8	Thermoplastische Polyester TP (Polyalkylenterephthalate) PET, PBT ..	155
10.9	Polycarbonat PC .....	160
10.10	Modifizierte Polyphenylether PPE .....	165
10.11	Aliphatische Polyketone(PK) .....	169
<b>11</b>	<b>Spezielle Kunststoffe zum Einsatz bei höheren Temperaturen (Hochleistungskunststoffe) .....</b>	<b>171</b>
11.1	Polyarylsulfone PSU, PES .....	172
11.2	Polyphenylensulfid PPS .....	175
11.3	PI, PEI, PAI .....	178
11.4	Polyaryletherketone PAEK (PEK, PEEK) .....	181
11.5	Polyphtalamid (PPA) .....	183
11.6	Fluorhaltige Polymerisate .....	185
11.6.1	Polytetrafluorethylen PTFE .....	185
11.6.2	Fluorhaltige Thermoplaste .....	189
<b>12</b>	<b>Duroplaste .....</b>	<b>193</b>
12.1	Phenoplaste PF .....	194
12.2	Aminoplaste MF, MP, UF .....	200
12.3	Ungesättigte Polyesterharze UP .....	205
12.4	Epoxidharze EP .....	210
12.5	Sonderharze .....	215
12.5.1	Siliconharzmassen SI .....	215
12.5.2	Diallylphthalat DAP/Polydiallylphthalat PDAP .....	215
12.5.3	Poly-DCPD-Harze .....	216
12.5.4	Vinylesterharze (VE-Harze) .....	216
12.5.5	PUR-Gießharze .....	216
<b>13</b>	<b>Verbundsysteme .....</b>	<b>219</b>
13.1	Faser-Kunststoff-Verbunde .....	219
13.1.1	Faserwerkstoffe, Faserprodukte .....	220
13.1.2	Besonderheiten bei Faser-Verbundsystemen .....	222

13.1.3	Verarbeitungstechniken für Reaktionsharzmassen mit Faserverstärkungen .....	224
13.1.4	Thermoplast-Faserverbundsysteme .....	225
13.2	Polymerblends (siehe auch Abschn. 4.2) .....	227
<b>14</b>	<b>Elastomere .....</b>	<b>229</b>
14.1	Vernetzte Elastomere (Gummiwerkstoffe) .....	229
14.2	Thermoplastische Elastomere TPE .....	234
14.2.1	Polyurethan-Elastomere PUR, TPU .....	236
14.2.2	Polyetheramide TPA .....	240
14.2.3	Polyesterelastomere TPC .....	241
14.2.4	Elastomere auf Polyolefinbasis (siehe auch Abschnitt 10.1) ..	243
14.2.4.1	Ethylen-Vinylacetat-Copolymere EVAC .....	243
14.2.4.2	Olefin-Elastomere TPO, TPV .....	244
14.2.5	Styrolcopolymere TPS .....	245
<b>15</b>	<b>Schaumstoffe, geschäumte Kunststoffe .....</b>	<b>247</b>
15.1	Harte Schaumstoffe; harte Struktur- bzw. Integral-Schaumstoffe .....	251
15.2	Weichelastische Schaumstoffe; weichelastische Struktur- bzw. Integral-Schaumstoffe .....	254
<b>16</b>	<b>Sonderpolymere .....</b>	<b>257</b>
16.1	LC-Polymere .....	257
16.2	Elektrisch leitfähige Polymere .....	259
16.3	Biopolymere – Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen .....	260
16.4	Anmerkung .....	264
<b>TEIL III</b>	<b>Prüfung von Kunststoffen, Kennwerte .....</b>	<b>265</b>
<b>17</b>	<b>Auswertung von Prüfergebnissen .....</b>	<b>267</b>
<b>18</b>	<b>Einfache Methoden zur Erkennung der Kunststoffart .....</b>	<b>271</b>
<b>19</b>	<b>Physikalische Untersuchungsmethoden zum Erkennen der Kunststoffart .....</b>	<b>275</b>
19.1	Dichtebestimmung .....	275
19.1.1	Bestimmung der Dichte nach der Auftriebsmethode (Verfahren A) .....	276

19.1.2	Bestimmung der Dichte durch Eingrenzen in Prüfflüssigkeiten (Verfahren C) .....	277
19.1.3	Bestimmung der Dichte von Schaumstoffen aus Kautschuk und Kunststoffen .....	277
19.2	Bestimmung des Gehalts an Füll- und Verstärkungsstoffen .....	278
19.2.1	Bestimmung des Gehalts an anorganischen Füllstoffen .....	278
19.2.2	Ermittlung des Glasfasergehalts und des Gehalts anderer mineralischer Füllstoffe aus den Dichtewerten .....	282
19.3	Thermische Analysenverfahren .....	283
19.4	Infrarot-Spektroskopie .....	288
19.5	Gel-Permeations-Chromatographie GPC .....	290
<b>20</b>	<b>Datenkatalog für Prüfungen, Herstellungsbedingungen für Probekörper, Prüfverfahren zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten .....</b>	<b>293</b>
20.1	Datenbank CAMPUS .....	294
20.2	Herstellbedingungen für Probekörper und Prüfbedingungen .....	296
<b>21</b>	<b>Mechanische Prüfungen .....</b>	<b>305</b>
21.1	Zugversuch .....	305
21.2	Druckversuch .....	323
21.3	Biegeversuch .....	330
21.4	Versuche zur Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften – Torsionsschwingungsversuch .....	338
21.5	Härteprüfung .....	347
21.5.1	Härteprüfung durch Kugeleindruckversuch .....	348
21.5.2	Härteprüfung nach Rockwell .....	353
21.5.3	Härteprüfung nach Shore .....	354
21.6	Kratzprüfung .....	356
21.6.1	Kratzeigenschaften von Kunststoffen .....	357
21.6.2	Bestimmung der Kratzbeständigkeit .....	358
21.6.3	Gitterschnittprüfung .....	359
21.6.4	Ritzhärteprüfung mit Ring- oder Schleifenstichel .....	360
21.6.5	Ritzhärteprüfung mit Bleistiften .....	361
21.6.6	Waschanlagenprüfung .....	362
21.7	Schlagversuche .....	363
21.7.1	Schlagbiegeversuche nach Charpy .....	365
21.7.1.1	Schlagbiegeversuche nach DIN EN ISO 179-1 .....	365

21.7.1.2	Instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung DIN EN ISO 179-2 .....	370
21.7.2	Schlagbiegeversuche nach Izod .....	381
21.7.3	Schlagzugversuch .....	383
21.8	Zeitstandversuch .....	386
21.9	Zeitschwingversuch .....	400
21.10	Reibungs- und Verschleißverhalten .....	408
<b>22</b>	<b>Thermische Prüfungen .....</b>	<b>411</b>
22.1	Formbeständigkeit in der Wärme .....	411
22.1.1	Wärmeformbeständigkeitstemperatur $T_f$ .....	411
22.1.2	Vicat-Erweichungstemperatur VST .....	416
22.2	Verhalten von Kunststoffen bei Temperatureinwirkung .....	420
22.3	Gebrauchstemperaturbereiche .....	423
22.4	Wärmeleitfähigkeit .....	427
22.4.1	Transientes Flächenquellenverfahren (Hot-Disk-Methode) ..	432
22.4.2	Laserblitzverfahren .....	432
22.5	Thermischer Längenausdehnungskoeffizient .....	433
<b>23</b>	<b>Brennverhalten von Kunststoffen .....</b>	<b>439</b>
23.1	Prüfung zur Ermittlung der Brandgefahr nach DIN EN 60695 .....	443
23.1.1	Brandprüfung nach DIN EN 60695 Verfahren A – Horizontalbrennprüfung .....	445
23.1.2	Brandprüfung nach DIN EN 60695 Verfahren B – Vertikalbrennprüfung .....	447
23.1.3	Brandprüfung nach DIN EN 60695-11-20 .....	448
23.1.4	Anmerkung zur Ermittlung des Brennverhaltens .....	448
23.2	Brennbarkeitsprüfungen nach UL .....	451
23.3	Bestimmung des Brennverhaltens durch den Sauerstoff-Index .....	453
<b>24</b>	<b>Elektrische Prüfungen .....</b>	<b>455</b>
24.1	Elektrische Spannungs- und Widerstandswerte .....	456
24.1.1	Elektrische Durchschlagsspannung, elektrische Durchschlagfestigkeit .....	457
24.1.2	Durchgangswiderstand, spezifischer Oberflächenwiderstand, Isolationswiderstand .....	461
24.2	Dielektrische Eigenschaftswerte .....	471
24.3	Kriechwegbildung (Kriechstromfestigkeit) .....	478

<b>25</b>	<b>Optische Prüfungen</b>	<b>481</b>
25.1	Brechzahl	481
25.2	Lichtdurchlässigkeit	483
<b>26</b>	<b>Wasseraufnahme und Permeation</b>	<b>489</b>
26.1	Wasserdampf- und Gasdurchlässigkeit (Permeation)	490
26.2	Bestimmung der Wasseraufnahme	493
26.3	Konditionieren	497
<b>27</b>	<b>Schwindung, Schrumpfung</b>	<b>499</b>
27.1	Schwindung	499
27.2	Schrumpfung	505
<b>28</b>	<b>Chemische Beständigkeit von Kunststoffen</b>	<b>507</b>
<b>29</b>	<b>Viskositätsmessungen</b>	<b>511</b>
29.1	Viskositätsmessungen an Thermoplasten	511
29.1.1	Bestimmung von Schmelze-Massefließrate und Schmelze-Volumenfließrate (früher Schmelzindex und Volumen-Fließindex)	512
29.1.2	Rheometrie – Aufnahme von Fließkurven	515
29.1.3	Aufnahme von $pVT$ -Diagrammen	517
29.1.4	Bestimmung der Viskositätszahl von Thermoplasten in verdünnter Lösung	520
29.2	Fließ-Härtungsverhalten von härtbaren Formmassen	523
29.2.1	Bestimmung der Schließzeit von härtbaren Formmassen (PMC)	523
29.2.2	Bestimmung des Fließ-Härtungsverhaltens von rieselfähigen duroplastischen Formmassen (PMC)	524
29.2.3	Bestimmung des Härungsverhaltens faserverstärkter härtbarer Kunststoffe	527
29.2.3.1	Verfahren I	527
29.2.3.1	Verfahren II	529
29.2.4	Bestimmung der Fließfähigkeit, Reifung und Gebrauchsdauer faserverstärkter, härtbarer Kunststoffe	531
29.2.4.1	Verfahren I	531



<b>30</b>	<b>Materialeingangsprüfungen</b>	<b>535</b>
30.1	Bezeichnung von Formmassen	535
30.2	Erkennen der Kunststoffart	535
30.3	Viskositätsmessungen	536
30.4	Korngröße, Kornform	536
30.5	Schüttdichte und Stopfdichte	537
30.6	Rieselfähigkeit	539
30.7	Feuchtegehalt, Flüchte	539
<b>31</b>	<b>Prüfung von Kunststoff-Formteilen</b>	<b>541</b>
31.1	Zusammenstellung von Formteilprüfungen	541
31.1.1	Prüfung des Formstoffs im Formteil	541
31.1.2	Prüfung des ganzen Formteils	543
31.1.3	Gebrauchsprüfungen des Formteils	544
31.2	Ermittlung von Eigenspannungen	545
31.2.1	Warmlagerungsversuch	546
31.2.2	Spannungsrisssverhalten von Thermoplasten	548
31.2.2.1	Beurteilung des Spannungsrisssverhaltens durch Zeitstandzugversuch	552
31.2.2.2	Beurteilung des Spannungsrisssverhaltens im Biegestreifenverfahren	554
31.2.2.3	Beurteilung des Spannungsrisssverhaltens durch Kugel- oder Stifteindrückverfahren	557
31.2.2.4	Bell-Telephone Test	561
31.3	Mikroskopische Untersuchungen	561
31.3.1	Präparation für Durchlichtuntersuchungen	562
31.3.1.1	Herstellung von Dünnschnitten	562
31.3.1.2	Herstellung von Dünnschliffen	563
31.3.2	Präparation für Auflichtuntersuchungen	564
31.3.3	Mikroskopierverfahren	564
31.3.3.1	Beurteilung von teilkristallinen Thermoplasten	565
31.3.3.2	Beurteilung der Füllstoffverteilung in Kunststoff-Formteilen	567
31.3.4	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	568
31.4	Stoßversuche	569
31.4.1	Nichtinstrumentierter Schlagversuch DIN EN ISO 6603-1 (Fallbolzenversuch)	570
31.4.2	Instrumentierter Schlagversuch DIN EN ISO 6603-2 (Durchstoßversuch)	572

31.4.3	Vergleich von Ergebnissen aus Fall- und Durchstoßversuchen .....	572
31.5	Farbbeurteilung .....	574
31.5.1	Farbabmusterung nach DIN 6173 .....	576
31.5.2	Farbmessungen .....	576
31.6	Bewitterungsversuche .....	578
31.6.1	Bewitterung in Naturversuchen (Freibewitterung) .....	579
31.6.2	Bewitterung in Kurzprüfungen .....	580
<b>TEIL IV</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>581</b>
<b>32</b>	<b>Größen, Einheiten, Umrechnungsmöglichkeiten .....</b>	<b>583</b>
<b>33</b>	<b>Literaturhinweise .....</b>	<b>587</b>
<b>34</b>	<b>Fachverbände und Fachorganisationen .....</b>	<b>591</b>
<b>35</b>	<b>Hersteller und Lieferanten von Kunststoffen .....</b>	<b>595</b>
<b>36</b>	<b>Prüfgeräte- und Prüfmittelhersteller .....</b>	<b>601</b>
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>605</b>