

DOMININGHAUS

# Kunststoffe

Eigenschaften und Anwendungen

Herausgegeben von

Peter Elsner, Peter Eyerer und Thomas Hirth

8., neu bearbeitete und erweiterte Auflage



 Springer

VDI

DOMININGHAUS

# Kunststoffe

Eigenschaften und Anwendungen

Herausgegeben von  
Peter Elsner, Peter Eyerer und Thomas Hirth

8., neu bearbeitete und erweiterte Auflage



 Springer

VDI

# Kunststoffe

Hans Domininghaus<sup>†</sup> · Peter Elsner (Hrsg.)  
Peter Eyerer (Hrsg.) · Thomas Hirth (Hrsg.)

# Kunststoffe

Eigenschaften und Anwendungen

8., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 892 Abbildungen und 275 Tabellen

Dipl.-Ing. Hans Domininghaus<sup>†</sup>

Professor Dr.-Ing. Peter Elsner  
*peter.elsner@ict.fraunhofer.de*

Professor Dr.-Ing. Peter Eyerer  
*peter.eyerer@ict.fraunhofer.de*

Professor Dr. Thomas Hirth  
*thomas.hirth@igb.fraunhofer.de*

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7  
76327 Pfinztal  
Deutschland

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
Deutschland

ISBN 978-3-642-16172-8      ISBN 978-3-642-16173-5 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-642-16173-5  
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Heidelberg 2004, 2008, 2012

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollten in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

---

## Vorwort zur 8. Auflage

In der 8. Auflage des Buches Kunststoffe haben wir das Kapitel 1 erneut gekürzt, um so den Details zu den Kunststoffen mehr Platz einzuräumen. Das bisherige Kapitel 1 erscheint in Kürze erneut in erweiterter Form unter dem Titel „Polymer Engineering“ als separates Buch in der 2. Auflage ebenfalls beim Springer-Verlag. Diese 8. Auflage enthält neue Kapitel zu Polyurethanen und Naturfaserkompositen, das Kapitel Biopolymere wurde erweitert. Vollständig überarbeitet wurde außerdem das Kapitel 6 zum Thema Datenbanken. Ebenfalls gründlich überarbeitet und erweitert haben wir die Stichwortverzeichnisse. Selbstverständlich haben wir, wo immer uns möglich, das gesamte Werk überarbeitet und aktualisiert.

Wir haben uns erneut bemüht die fachlichen Anregungen von Lesern und Kollegen zu berücksichtigen, aktuelle Entwicklungen aufzugreifen und neue Werkstoffdaten sowie Anwendungen zu integrieren. Wir würden uns freuen, wenn die aktuell vorliegende Auflage ihr Interesse findet und für sie zu einem weiterhin guten, oder noch besseren, Wegbegleiter bei der Lösung kunststoffspezifischer Fragen wird bzw. bleibt.

Bitte helfen Sie wieder mit, die 9. Auflage zur K 2013 so weiterzuentwickeln, dass wir Ihren Wünschen und Bedarfen möglichst umfangreich gerecht werden. Schreiben Sie uns Ihre Meinung und helfen Sie mit Fehler auszumerken.

Sie erreichen uns per e-mail:  
peter.elsner@ict.fraunhofer.de  
peter.eyerer@ict.fraunhofer.de  
thomas.hirth@igb.fraunhofer.de

Unser besonderer Dank gilt den Autoren für die fachliche Ausarbeitung der Kapitel sowie Katharina Wörsing und Alexandra Wolf für die Erstellung und Korrektur des Manuskripts. Dem Springer Verlag, insbesondere Herrn Lehnert, danken wir für die Unterstützung bei der Umsetzung unseres Konzepts.

Die Herausgeber  
Peter Elsner  
Peter Eyerer  
Thomas Hirth

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung in Polymer Engineering</b>	<b>1</b>
1.1	Einteilungen	3
1.1.1	Einteilung der Werkstoffe	3
1.1.2	Einteilung der Kunststoffe	4
1.1.3	Einteilung der Verbundwerkstoffe	4
1.1.4	Hauptmerkmale von Kunststoffen (in Anlehnung an DIN 7724)	5
1.1.5	Wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe	10
1.1.5.1	Wirtschaftsdaten zu Thermoplasten	10
1.1.5.2	Wirtschaftsdaten zu Duroplasten	10
1.1.5.3	Wirtschaftsdaten zu Elastomeren	10
1.1.5.4	Preisspanne für Kunststoffe	12
	Literatur – Kapitel 1.1	12
1.2	Synthese (Herstellung, Erzeugung) von Kunststoffen	13
1.2.1	Übersicht Polymerisation	13
1.2.2	Zuordnung von Kunststoffen zu Polymerisationsarten	13
1.2.3	Einflüsse der Polymerisation auf die Werkstoffeigenschaften	16
1.2.4	Duroplaste (technische Harze)	19
1.2.5	Abgewandelte Naturstoffe	20
1.2.5.1	Kunststoffe auf Cellulosebasis	21
1.2.5.2	Kunststoffe auf Proteinbasis	21
1.2.5.3	Kunststoffe auf Ligninbasis	22
1.2.6	Kunststofferzeugung (verfahrenstechnische Prozesse)	22
	Literatur – Kapitel 1.2	23
	Weiterführende Literatur – Kapitel 1.2	23
1.3	Eigenschaften von Kunststoffen in Bauteilen	23
1.3.1	Aufbau der Kunststoffe	23
1.3.1.1	Chemische Ordnungszustände	25
1.3.1.2	Physikalische Ordnungszustände	37
1.3.2	Mechanische Eigenschaften	42
1.3.2.1	Temperaturabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften	42
1.3.2.2	Verformungsverhalten von Kunststoffen	46
1.3.2.3	Verhalten bei Zugbelastung	47
1.3.2.4	Mechanische Dämpfung	50

1.3.2.5	Zeitabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften ..	50
1.3.3	Weitere physikalische Eigenschaften .....	53
1.3.4	Chemische Eigenschaften .....	57
1.3.4.1	Beständigkeit gegen Chemikalien/Medien .....	57
1.3.4.2	Alterung von Kunststoffen .....	60
1.3.4.3	Schutzmaßnahmen gegen Alterungsvorgänge .....	62
1.3.5	Zusatzstoffe für Kunststoffe .....	63
	Literatur – Kapitel 1.3 .....	64
	Weiterführende Literatur – Kapitel 1.3 .....	64
1.4	Verarbeitung (Urformen) von Kunststoffen zu Bauteilen .....	65
1.4.1	Aufbereitung und Zusatzstoffe (Additive) .....	65
1.4.2	Verarbeitung von Kunststoffschmelzen .....	70
1.4.2.1	Fließeigenschaften von Schmelzen .....	71
1.4.2.2	Verformungsverhalten von Schmelzen .....	75
1.4.3	Verarbeitung von Thermoplasten .....	76
1.4.3.1	Spritzgießen .....	78
1.4.3.2	Extrudieren .....	83
1.4.3.3	Verarbeitungstechniken thermoplastischer Faserverbundwerkstoffe .....	87
1.4.4	Verarbeitung von Thermoplastischen Elastomeren (TPE) .....	87
1.4.5	Verarbeitung von Elastomeren .....	88
1.4.5.1	Formgebung (Rohlingsverarbeitung) und Vernetzung (Vulkanisation) .....	90
1.4.6	Verarbeitung von Duroplasten .....	90
1.4.6.1	Verarbeitungsprinzip .....	90
1.4.6.2	Typisierung von Duroplasten (härtbare Formmassen) .....	94
1.4.6.3	Einteilung der Verarbeitungsverfahren .....	94
1.4.7	Verarbeitungseinflüsse auf Bauteileigenschaften ....	94
1.4.7.1	Bauteileigenschaften .....	95
1.4.7.2	Einflüsse des Verfahrens und des Kunststoffes auf die Bauteileigenschaften .....	101
	Literatur – Kapitel 1.4 .....	101
	Weiterführende Literatur – Kapitel 1.4 .....	103
	Weiterführende Literatur zu Kapitel 1.4.1 .....	103
	Weiterführende Literatur zu Kapitel 1.4.3.1 und 1.4.3.2	103
	Weiterführende Literatur zu Kapitel 1.4.3.3 .....	104
	Weiterführende Literatur zu Kapitel 1.4.7 .....	104
1.5	Kunststoffe und Bauteile .....	105
1.5.1	Kreislaufwirtschaft und Recycling .....	105
1.5.1.1	Bauteil-Wiederverwertung .....	106
1.5.1.2	Möglichkeiten der werkstofflichen Kreislaufführung	107
1.5.1.3	Rohstoffliche Kreislaufführung .....	108
1.5.1.4	Verbrennung .....	109



---

1.5.1.4.1	Verbrennungskonzepte und -aggregate .....	109
1.5.1.4.2	Verbrennung in Kraftwerken .....	109
1.5.1.4.3	Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen .....	110
1.5.1.5	Ausblick .....	110
1.5.2	Umweltbewertung und -bilanzierung von Kunststoffen .....	111
1.5.2.1	Ganzheitliche Bilanzierung .....	111
	Literatur – Kapitel 1.5 .....	113
	Weiterführende Literatur zu Kapitel 1.5 .....	113
<b>2</b>	<b>Synthetische Kunststoffe .....</b>	<b>115</b>
2.1	Thermoplastische Polymere .....	115
2.1.1	Polyolefine (PO) .....	116
2.1.1.1	Polyethylen (PE) .....	118
2.1.1.1.1	PE-LD und PE-HD .....	120
2.1.1.1.1.1	Synthese und Compoundierung .....	120
2.1.1.1.1.1.1	Synthese .....	120
2.1.1.1.1.1.2	Struktur und Morphologie .....	124
2.1.1.1.1.1.3	Compound und Blend .....	124
2.1.1.1.1.2	Eigenschaften .....	130
2.1.1.1.1.2.1	Thermo-Mechanische Eigenschaften .....	130
2.1.1.1.1.2.2	Beständigkeit und Sperrfähigkeit .....	147
2.1.1.1.1.2.3	Elektrische, optische, akustische Eigenschaften .....	150
2.1.1.1.1.3	Verarbeitung und Anwendung von PE .....	152
2.1.1.1.1.3.1	Urformen .....	152
2.1.1.1.1.3.2	Umformen .....	154
2.1.1.1.1.3.3	Fügen .....	156
2.1.1.1.1.3.4	Veredelung .....	158
2.1.1.1.1.4	Gesundheit und Umwelt .....	159
2.1.1.1.1.5	Handelsnamen .....	160
2.1.1.1.2	PE-LLD .....	161
2.1.1.1.2.1	Synthese und Compoundierung .....	162
2.1.1.1.2.1.1	Synthese .....	162
2.1.1.1.2.1.2	Struktur und Morphologie .....	162
2.1.1.1.2.2	Eigenschaften .....	163
2.1.1.1.2.3	Verarbeitung und Anwendung .....	165
2.1.1.1.2.4	Handelsnamen .....	171
2.1.1.1.3	PE-UHMW .....	172
2.1.1.1.3.1	Technisches PE-UHMW .....	172
2.1.1.1.3.1.1	Synthese und Compoundierung .....	172
2.1.1.1.3.1.1.1	Synthese .....	172
2.1.1.1.3.1.1.2	Compound und Blend .....	172
2.1.1.1.3.1.2	Eigenschaften .....	173
2.1.1.1.3.1.3	Verarbeitung und Anwendung .....	176
2.1.1.1.3.1.4	Handelsnamen .....	178

2.1.1.1.3.2	Medizinisches PE-UHMW – Polyethylen als Implantatwerkstoff .....	178
2.1.1.1.3.2.1	Chemisch unvernetztes medizinisches Standard Polyethylen als Werkstoff .....	178
2.1.1.1.3.2.2	PE-UHMW als Implantat-Komponenten .....	181
2.1.1.1.3.2.3	Chemisch hochvernetztes medizinisches PE-UHMW	183
2.1.1.1.4	Polyethylen-Modifikationen .....	186
2.1.1.1.4.1	Vernetztes Polyethylen (PE-X) .....	186
2.1.1.1.4.2	Chlorierte Polyolefine .....	191
2.1.1.1.4.2.1	Chloriertes Polyethylen (PE-C) (thermoplastisches Elastomer) .....	191
2.1.1.1.4.2.2	Vernetzte chlorierte Polyolefine (PE-CX) .....	195
2.1.1.1.4.3	Sulfochloriertes Polyethylen .....	196
2.1.1.1.4.4	Phosphorylierung, Sulfophosphorylierung, Sulfierung, Oxidation .....	197
2.1.1.1.4.5	Copolymere des Ethylens .....	197
2.1.1.1.4.5.1	Ethylen/Vinylacetat-Copolymere (EVAC) .....	197
2.1.1.1.4.5.2	Ethylen/Vinylalkohol-Copolymere (EVOH) .....	202
2.1.1.1.4.5.3	Ethylen/Ethylacrylat-Copolymere (EEAK) .....	203
2.1.1.1.4.5.4	Ethylen/Methylacrylat-Copolymere (EMA) .....	205
2.1.1.1.4.5.5	Ethylen/Acrylsäure-Copolymere (EAA) .....	206
2.1.1.1.4.5.6	Ethylen/Butylacrylat-Copolymere (EBA) .....	207
2.1.1.1.4.6	Abbaubare Polyethylene und andere Kunststoffe ....	209
2.1.1.1.5	Literatur – Kapitel 2.1.1.1 .....	210
2.1.1.2	Polypropylen .....	213
2.1.1.2.1	Synthese und Compoundierung .....	213
2.1.1.2.1.1	Synthese .....	213
2.1.1.2.1.2	Struktur und Morphologie .....	216
2.1.1.2.1.3	Compound und Blend .....	221
2.1.1.2.2	Eigenschaften .....	226
2.1.1.2.2.1	Thermo-Mechanische Eigenschaften .....	226
2.1.1.2.2.2	Reibeverhalten, Beständigkeit und Sperrfähigkeit ...	237
2.1.1.2.2.3	Elektrische, optische, akustische Eigenschaften ....	238
2.1.1.2.3	Verarbeitung und Anwendung .....	239
2.1.1.2.3.1	Urformen .....	240
2.1.1.2.3.2	Umformen .....	243
2.1.1.2.3.3	Fügen .....	243
2.1.1.2.3.4	Veredelung .....	244
2.1.1.2.4	Gesundheit und Umwelt .....	244
2.1.1.2.5	Handelsnamen .....	249
2.1.1.2.6	Literatur – Kapitel 2.1.1.2 .....	251
2.1.1.3	Polybuten-1 (PB) .....	254
2.1.1.4	Polyisobutylen (PIB) .....	261
2.1.1.5	Poly-4-methylpenten-1 (PMP) .....	264
2.1.1.6	Andere aliphatische Polyolefine .....	268
2.1.1.7	Ionomere .....	269
2.1.1.8	Cycloolefincopolymere (COC) .....	273

2.1.1.9	Verbundwerkstoffe auf Basis Kohlenstoff-Polyolefin	279
	Literatur – Kapitel 2.1.1.3 – 2.1.1.9	280
2.1.2	Vinylpolymere	281
2.1.2.1	Polyvinylchlorid (PVC)	282
2.1.2.1.1	Synthese und Compoundierung	282
2.1.2.1.1.1	Synthese (PVC)	282
2.1.2.1.1.2	Struktur	284
2.1.2.1.1.3	Rohstoffeigenschaften	284
2.1.2.1.1.4	Additive und Zuschlagstoffe (PVC)	286
2.1.2.1.1.5	Compound und Blend (PVC)	292
2.1.2.1.2	Eigenschaften (PVC)	293
2.1.2.1.2.1	Thermo-Mechanische Eigenschaften	293
2.1.2.1.2.2	Beständigkeiten und Sperrfähigkeit (PVC)	305
2.1.2.1.2.3	Elektrische und optische Eigenschaften (PVC)	308
2.1.2.1.2.4	Sonstige Eigenschaften (PVC)	312
2.1.2.1.3	Verarbeitung und Anwendung (PVC)	312
2.1.2.1.3.1	Urformen (PVC)	315
2.1.2.1.3.2	Pastenverarbeitung (PVC)	316
2.1.2.1.3.3	Schäumen (PVC)	317
2.1.2.1.3.4	Bearbeiten (PVC)	317
2.1.2.1.3.5	Fügen (PVC)	317
2.1.2.1.3.6	Veredelung (PVC)	320
2.1.2.1.3.7	Anwendungsbeispiele (PVC)	320
2.1.2.1.4	Sicherheit, Umwelt und Recycling (PVC)	322
2.1.2.1.4.1	Sicherheit	322
2.1.2.1.4.2	Recycling (PVC)	323
2.1.2.1.5	Sortiment (PVC)	327
2.1.2.1.5.1	Lieferformen (PVC)	327
2.1.2.1.5.2	Typisierung (PVC)	327
2.1.2.1.5.3	Handelsnamen	327
2.1.2.1.6	Literatur – Kapitel 2.1.2.1	328
2.1.2.2	Polyvinylchlorid-Modifikationen	329
2.1.2.2.1	Erhöhung der Schlagzähigkeit (PVC)	331
	Literatur – Kapitel 2.1.2.2.1 (PVC)	339
2.1.2.2.2	Höhere Wärmeformbeständigkeit (PVC)	339
	Literatur	342
2.1.2.2.3	Modifikation mit speziellen PVC-Typen	342
2.1.2.2.3.1	PVC-Modifikationen mit VC-VAc-Copolymeren	343
2.1.2.2.3.2	PVC-Modifikationen mit speziellen E-PVC-Typen	344
2.1.2.2.3.3	Oberflächenmodifizierung mit „hochmolekularem PVC“	346
2.1.2.2.3.4	PVC-Modifikation mit kautschukreichen PVC-Pfropfpolymeren	348
	Literatur – Kapitel 2.1.2.2.3	350
2.1.2.2.4	Barriereeigenschaftsänderungen mit Mehrschichtfolien	351
	Literatur	361

2.1.2.2.5	PVC – Naturfaser – Verbunde .....	361
	Literatur – Kapitel 2.1.2.2.5 .....	367
2.1.3	Styrolpolymere (PS) .....	369
2.1.3.1	Styrol-Homopolymere (PS) .....	371
2.1.3.2	Styrol-Copolymere .....	388
2.1.3.2.1	Schlagzähmodifizierte Polystyrole .....	388
2.1.3.2.1.1	Styrol/Butadien-Pfropfcopolymere (SB) .....	392
2.1.3.2.1.2	Styrol/Butadien/Styrol-Blockcopolymere (SBS) .....	401
2.1.3.2.1.3	Thermoplastische Styrol/Butadien-Elastomere (SBS-TE) .....	412
2.1.3.2.1.4	Styrol/ $\alpha$ -Methylstyrolcopolymere (S/MS) .....	419
2.1.3.2.1.5	Styrol/Maleinsäureanhydrid (S/MSA) .....	419
2.1.3.2.1.6	Styrol/Methylmethacrylat (S/MMA) .....	420
2.1.3.2.2	Styrol/Acrylnitrilcopolymer (SAN) .....	420
2.1.3.2.2.1	SAN-Modifikationen .....	433
2.1.3.2.2.1.1	Acrylnitril/Polybutadien/Styrolpfropfpolymer (ABS) .....	433
2.1.3.2.2.1.2	Pfropfcopolymere aus MMA, SB und ABS (MABS) ..	443
2.1.3.2.3	Styrol - Polyblends .....	448
2.1.3.2.3.1	Polymerblends aus (ABS + PC) .....	448
2.1.3.2.3.2	Acrylnitril/Styrol/Acrylester-Pfropfcopolymere (ASA) .....	455
2.1.3.2.3.3	Polymerblends aus ASA und Polycarbonat (ASA + PC) .....	467
2.1.3.3	Literatur – Kapitel 2.1.3 .....	472
2.1.4	Polyacrylate .....	475
2.1.4.1	Polyacrylnitril (PAN) .....	476
2.1.4.1.1	Synthese und Compoundierung .....	476
2.1.4.1.1.1	Synthese .....	476
2.1.4.1.1.2	Struktur und Morphologie .....	477
2.1.4.1.2	Eigenschaften .....	477
2.1.4.2	Acrylnitril-Copolymere mit geringer Gasdurchlässigkeit (Barriere-Kunststoffe) .....	478
2.1.4.2.1	Styrol/Acrylnitrilcopolymer SAN .....	478
2.1.4.2.2	Acrylnitril-Methyl-Acrylat-Copolymerisate .....	479
2.1.4.2.2.1	Eigenschaften .....	479
2.1.4.2.2.2	Verarbeitung .....	481
2.1.4.2.2.3	Handelsnamen .....	481
2.1.4.3	Polymethylmethacrylat (PMMA) .....	482
2.1.4.3.1	Synthese und Compoundierung .....	482
2.1.4.3.2	Eigenschaften .....	484
2.1.4.3.2.1	Thermo-mechanische Eigenschaften .....	485
2.1.4.3.2.2	Beständigkeit und Sperrfähigkeit .....	492
2.1.4.3.2.3	Elektrische, optische, akustische Eigenschaften .....	495
2.1.4.3.3	Verarbeitung und Anwendung .....	497
2.1.4.4	PMMA/ABS Blends .....	500
2.1.4.5	Polymethylmethacrylimid (PMMI) .....	501
2.1.4.6	MBS-Polymerisat .....	501
2.1.4.7	Polymethacrylimid (PMI) .....	501
2.1.4.7.1	Synthese und Compoundierung .....	501
2.1.4.7.1.1	Herstellung von ROHACELL® .....	501

2.1.4.7.2	Eigenschaften	502
2.1.4.8	Literatur – Kapitel 2.1.4	503
2.1.5	Polyacetal (POM)	505
2.1.5.1	Synthese und Aufbereitung (Compoundierung)	506
2.1.5.2	Eigenschaften	510
2.1.5.2.1	Physikalische Eigenschaften	510
2.1.5.2.2	Mechanische Eigenschaften: Kurzzeitverhalten bei geringer Verformungsgeschwindigkeit	510
2.1.5.2.3	Thermische Eigenschaften	528
2.1.5.2.4	Elektrische Eigenschaften	529
2.1.5.2.5	Optische Eigenschaften	531
2.1.5.2.6	Chemische und technologische Beständigkeit	531
2.1.5.2.6.1	Chemikalienbeständigkeit	531
2.1.5.2.6.2	Wasseraufnahme	531
2.1.5.2.6.3	Spannungsrissverhalten	532
2.1.5.2.6.4	Witterungsbeständigkeit	532
2.1.5.2.6.5	Strahlenbeständigkeit	532
2.1.5.2.6.6	Brennbarkeit	533
2.1.5.2.6.7	Durchlässigkeit für Gase und Dämpfe	533
2.1.5.2.6.8	Verhalten gegenüber Kraftstoffen	533
2.1.5.3	Verarbeitung	535
2.1.5.3.1	Urformen	535
2.1.5.3.2	Veredelung der Oberfläche	536
2.1.5.3.2.1	Heißprägen	536
2.1.5.3.2.2	Metallisieren	537
2.1.5.3.2.3	Bedrucken, Lackieren, Bemalen	537
2.1.5.3.3	Spanende Bearbeitung	538
2.1.5.3.4	Fügeverfahren	538
2.1.5.4	Gesundheit und Recycling	539
2.1.5.4.1	Gesundheitliche Beurteilung	539
2.1.5.4.2	Sterilisieren	539
2.1.5.4.3	Recycling	540
	Literatur – Kapitel 2.1.5	540
	Weiterführende Literatur Kapitel 2.1.5	541
2.1.6	Fluorkunststoffe	543
2.1.6.1	Polytetrafluorethylen (PTFE)	544
2.1.6.2	Tetrafluorethylen/Hexafluorpropylencopolymer (FEP)	565
2.1.6.3	Tetrafluorethylen/Ethylencopolymer (E/TFE)	574
2.1.6.4	Polytrifluorchlorethylen (PCTFE)	580
2.1.6.5	Polyvinylfluorid (PVF)	584
2.1.6.6	Polyvinylidenfluorid (PVDF)	587
2.1.6.7	Thermoplastische Fluorelastomere	595
2.1.6.8	Literatur – Kapitel 2.1.6	596
2.2	Polykondensate	597
2.2.1	Thermoplastische Polykondensate	599
2.2.1.1	Polyamide (PA)	604

2.2.1.1.1	Allgemeine Stoffbeschreibung .....	604
2.2.1.1.1.1	Nomenklatur .....	605
2.2.1.1.2	Aliphatische Polyamide .....	607
2.2.1.1.2.1	Struktur und allgemeine Eigenschaften .....	609
2.2.1.1.2.2	Eigenschaften .....	616
2.2.1.1.2.3	Verarbeitung .....	648
2.2.1.1.2.4	Sicherheit, Umwelt und Recycling .....	654
2.2.1.1.3	Partiell aromatische Polyamide .....	655
2.2.1.1.3.1	Polyarylamide: Arylamid PA MXD 6 .....	655
2.2.1.1.3.1.1	Allgemeine Stoffbeschreibung, Synthese und Struktur .....	655
2.2.1.1.3.1.2	Eigenschaften .....	656
2.2.1.1.3.1.3	Verarbeitung .....	659
2.2.1.1.3.2	Polyamid 6/6 T .....	660
2.2.1.1.3.2.1	Allgemeine Stoffbeschreibung, Struktur und allgemeine Eigenschaften .....	660
2.2.1.1.3.2.2	Eigenschaften .....	661
2.2.1.1.3.2.3	Beständigkeit .....	672
2.2.1.1.3.2.4	Elektrische Eigenschaften .....	672
2.2.1.1.3.2.5	Verarbeitung .....	673
2.2.1.1.3.3	Polyphthalamid PPA .....	676
2.2.1.1.3.3.1	Allgemeine Stoffbeschreibung, Struktur und allgemeine Eigenschaften .....	676
2.2.1.1.3.3.2	Thermo-Mechanische Eigenschaften .....	677
2.2.1.1.3.3.3	Beständigkeit .....	682
2.2.1.1.3.3.4	Verarbeitung .....	686
2.2.1.1.3.4	Weitere partiell aromatische Polyamide .....	688
2.2.1.1.3.4.1	Eigenschaften .....	689
2.2.1.1.4	Modifizierte Polyamide .....	689
2.2.1.1.4.1	Flexible Polyamide .....	689
2.2.1.1.4.1.1	Verarbeitung .....	690
2.2.1.1.4.1.2	Anwendungsbeispiele .....	691
2.2.1.1.4.2	Copolyamide .....	692
2.2.1.1.4.2.1	Verarbeitung .....	692
2.2.1.1.5	Thermoplastische Polyamid-Elastomere .....	692
2.2.1.1.5.1	PA 12-Elastomere .....	693
2.2.1.1.5.1.1	Allgemeine Stoffbeschreibung, Synthese und Struktur .....	694
2.2.1.1.5.1.2	Thermo-Mechanische Eigenschaften .....	695
2.2.1.1.5.1.3	Verarbeitung .....	695
2.2.1.1.5.2	PA 11-Elastomer .....	695
2.2.1.1.5.2.1	Allgemeine Stoffbeschreibung, Synthese und Struktur .....	695
2.2.1.1.6	Guss-Polyamide und Polyamid-RIM-Systeme .....	697
2.2.1.1.6.1	Allgemeine Eigenschaften .....	697
2.2.1.1.6.1.1	Allgemeine Stoffbeschreibung, Synthese und Struktur .....	697
2.2.1.1.6.1.2	Verarbeitung .....	698
2.2.1.1.6.2	Gusspolyamid 6 .....	701
2.2.1.1.6.2.1	Allgemeine Stoffbeschreibung .....	701
2.2.1.1.6.2.2	Verarbeitung von $\epsilon$ -Caprolactam zu PA 6-G .....	702

2.2.1.1.6.3	Gusspolyamid 6/12 (Copolymerisation) .....	702
2.2.1.1.6.3.1	Allgemeine Stoffbeschreibung .....	702
2.2.1.1.6.4	Elastomermodifiziertes Gusspolyamid 6 (Nyrin <sup>TM</sup> ) .	703
2.2.1.1.6.4.1	Allgemeine Stoffbeschreibung .....	703
2.2.1.1.6.4.2	Verarbeitung .....	703
2.2.1.1.6.4.3	Anwendungsbeispiele .....	703
2.2.1.1.6.5	Gusspolyamid 12 .....	704
2.2.1.1.6.5.1	Allgemeine Stoffbeschreibung .....	704
2.2.1.1.6.5.2	Verarbeitung von Laurinlactam zu PA 12-G .....	706
2.2.1.1.7	Polymermodifizierte Polyamide .....	706
2.2.1.1.7.1	Allgemeine Stoffbeschreibung .....	706
2.2.1.1.7.2	Verarbeitung .....	709
2.2.1.1.8	Sortiment .....	709
2.2.1.1.9	Literatur – Kapitel 2.2.1.1 bis 2.2.1.1.4.2 .....	713
2.2.1.2	Thermoplastische Polyester .....	714
2.2.1.2.1	Polycarbonat (PC) .....	714
2.2.1.2.1.1	Verarbeitung und Anwendung .....	738
2.2.1.2.1.2	Entwicklungstrends bei aromatischen Polycarbonaten	764
2.2.1.2.1.2.1	Optimierung/Erweiterung des PC-Sortiments .....	764
2.2.1.2.1.2.2	PC-Produktion durch Schmelzeumesterung .....	765
2.2.1.2.1.2.3	Polycarbonat für die laseroptische Datenspeicherung	766
2.2.1.2.1.2.4	Polycarbonat für die Automobilverschiebung .....	766
2.2.1.2.1.3	PC-Cokondensate .....	767
2.2.1.2.1.3.1	Bisphenol A-Copolycarbonate .....	768
2.2.1.2.1.3.2	Blockcopolykondensate .....	769
2.2.1.2.1.3.3	Erhöht wärmeformbeständige Polyester-carbonate (PEC)	769
2.2.1.2.1.4	Polycarbonatblends .....	771
2.2.1.2.1.4.1	Polycarbonat-Styrolcopolymer-Blends (PC + ABS), (PC + ASA) und Analoge .....	772
2.2.1.2.1.4.1	Polycarbonat-Polyester-Blends(PC + PBT) und (PC + PET) .....	777
	Literatur – Kapitel 2.2.1.2.1 .....	783
	Weiterführende Literatur .....	784
2.2.1.2.2	Polyalkylenterephthalate .....	785
2.2.1.2.2.1	Polyethylenterephthalat (PET) .....	785
2.2.1.2.2.1.1	Synthese .....	787
2.2.1.2.2.1.2	Eigenschaften .....	787
2.2.1.2.2.1.2.1	Struktur und Morphologie .....	787
2.2.1.2.2.1.2.2	Merkmale von teilkristallinem PET .....	788
2.2.1.2.2.1.2.3	Thermische und Mechanische Eigenschaften .....	789
2.2.1.2.2.1.2.4	Beständigkeiten .....	797
2.2.1.2.2.1.2.5	Elektrische, optische und akustische Eigenschaften ..	801
2.2.1.2.2.1.3	Verarbeitung und Compounding .....	802
2.2.1.2.2.1.3.1	Additive und Zuschlagstoffe .....	802
2.2.1.2.2.1.3.2	Verarbeitungsbedingte Polymer-Abbaumechanismen	806
2.2.1.2.2.1.4	Verarbeitung und Anwendung .....	807
2.2.1.2.2.1.4.1	Bestimmung der intrinsischen Viskosität .....	807