

# HANSER



## Leseprobe

zu

## Technologie der Kunststoffe

von Christian Hopmann, Helmut Greif and Leo Wolters

Print-ISBN: 978-3-446-46752-1  
E-Book-ISBN: 978-3-446-46960-0

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446467521>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort

Wir freuen uns, dass Sie sich für den Kauf dieses Buches entschieden haben, welches mit dieser Auflage gleichzeitig auch weiterhin als E-Book auf dem Markt erschienen ist.

Die Basis dieses Buches entstand vor etwas mehr als 45 Jahren im Rahmen eines mehrjährigen Forschungsprojektes mit dem Ziel nach geeigneten Methoden der Wissensvermittlung am Beispiel der Kunststofftechnologie zu suchen und diese zu entwickeln. Im Jahre 1976 erschien eine erste Auflage als Lernprogramm Technologie der Kunststoffe, welches vom Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen unter der Beteiligung des Instituts für Erziehungswissenschaft der RWTH Aachen gemeinsam entwickelt wurde.

Die Herausgeber waren Prof. Georg Menges (Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen), Prof. Johannes Zielinski (Direktor des Instituts für Erziehungswissenschaft der RWTH Aachen) sowie Ulrich Porath als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststoffverarbeitung.

Das Vorwort der ersten Auflage im Jahre 1976 begann mit der Aussage:

„Kunststoffe sind aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Wir nehmen diesen Werkstoff ganz selbstverständlich zur Hand, ohne uns mit ihm näher auseinandergesetzt zu haben...“

Diese Aussage gilt heute, nahezu 45 Jahre später, umso mehr, da der Werkstoff Kunststoff in nahezu allen Lebensbereichen Anwendungsgebiete erschlossen hat und auch zukünftig weitere erschließen wird.

Die vorliegende überarbeitete Neuauflage des Lern- und Arbeitsbuches verfolgt nach wie vor das gleiche Ziel, den Leser in die Welt der Kunststoffe einzuführen und die wesentlichen Grundlagen zum Werkstoff und zur Be- und Verarbeitung zu vermitteln. Das Buch wurde mit den letzten Auflagen sowie mit der hier vorliegenden Auflage fachlich, technisch und pädagogisch neu überarbeitet sowie um weitere Lektionen zu neuen Themenfeldern ergänzt.

Das vorliegende Buch ist eine Gemeinschaftsleistung. Die Autoren möchten sich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben – insbe-

sondere den Firmen und Einrichtungen, die reichlich Bildmaterial oder Informationen zur Verfügung gestellt haben.

An dieser Stelle sei allen, die an den Überarbeitungen der verschiedenen Auflagen mitgewirkt haben, herzlich gedankt: Dr. Johannes Thim, Hans Kaufmann, Prof. Walter Michaeli sowie Franz-Josef Vossebürger.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lernen und Arbeiten mit dieser neuen Auflage.

*Christian Hopmann*

*Helmut M. Greif*

*Leo Wolters*

Anregungen für Verbesserungen nehmen wir gerne entgegen  
([zentrale@ikv.rwth-aachen.de](mailto:zentrale@ikv.rwth-aachen.de)).

# Die Autoren

## **Universitätsprofessor Dr.-Ing. Christian Hopmann**

Prof. Christian Hopmann ist Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen. Er studierte Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen und promovierte 2000 bei Prof. Walter Michaeli. Nach mehreren Jahren in der kunststoffverarbeitenden Industrie, zuletzt als Managing Director der RKW Sweden AB in Helsingborg/Schweden, wurde er 2011 auf den Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung berufen und zum Institutsleiter bestellt. Hopmann ist Gründungsprofessor des Aachener Zentrums für integrativen Leichtbau (AZL) und Visiting Professor der Beijing University of Chemical Technology, China. 2014 wurde er mit dem Innovationspreis des Landes NRW ausgezeichnet und ist seit 2019 Fellow der Society of Plastics Engineers, USA.

## **Dr. Dipl.-Ing. Helmut Greif M. A.**

Bis 2016 war Dr. Helmut Greif Geschäftsführer der Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer (AGIT). Er studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Konstruktionstechnik an der Fachhochschule Aachen sowie Soziologie/Politologie/Erziehungswissenschaft an der RWTH Aachen, an der er auch bei Prof. Hörning (Soziologie) und Prof. Michaeli (Maschinenbau) interdisziplinär promovierte. Nach Stationen in der Industrie und der Wirtschaft als Fabrikplaner (Fagioplan) und dann als Geschäftsführer einer Aus- und Weiterbildungseinrichtung (Dr. Reinhold Hagen Stiftung), war er Leiter des HPI (Heinz-Piest-Institut) an der Universität Hannover im Fachbereich Maschinenbau, bevor er 2007 nach Aachen zur AGIT wechselte.

## **Dipl.-Ing. Leo Wolters**

Leo Wolters ist seit Mai 1995 Geschäftsführer der Abteilung Aus- und Weiterbildung am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen. Er studierte Maschinenbau an der Fachhochschule Köln mit der Vertiefungsrichtung Fertigungstechnik. Seit September 1984 befasst er sich mit dem Technologietransfer sowie der Aus- und Weiterbildung im Bereich der Kunststoffverarbeitung am IKV in Aachen und ist in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien und Normenausschüssen aktiv tätig.



# Inhalt

<b>Vorwort</b>	.....	<b>V</b>
<b>Die Autoren</b>	.....	<b>VII</b>
<b>Hinweise</b>	<b>Arbeiten mit dem Lern- und Arbeitsbuch</b> .....	<b>XV</b>
<b>Hinweise</b>	<b>Kurzzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>XVII</b>
	Physikalische Größen .....	XVII
	Kunststoffe .....	XVIII
	Allgemeine Begriffe .....	XX
	Akademische Grade .....	XXII
<b>Einführung</b>	<b>Kunststoff – ein künstlicher Stoff?</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>Lektion 1</b>	<b>Grundlagen der Kunststoffe</b> .....	<b>1</b>
	1.1 Was sind „Kunststoffe“? .....	1
	1.2 Woraus macht man Kunststoffe? .....	2
	1.3 Wie teilt man Kunststoffe ein? .....	2
	1.4 Wie werden Kunststoffe bezeichnet? .....	4
	1.5 Welche physikalischen Eigenschaften haben Kunststoffe? .....	5
	Erfolgskontrolle zur Lektion 1 .....	8
<b>Lektion 2</b>	<b>Rohstoffe und Polymersynthese</b> .....	<b>9</b>
	2.1 Rohstoffe für Kunststoffe .....	9
	2.2 Monomere und Polymere .....	11
	2.3 Synthese des Polyethylens .....	13
	2.4 Polymersyntheseverfahren .....	15
	Erfolgskontrolle zur Lektion 2 .....	22

<b>Lektion 3</b>	<b>Einteilung der Kunststoffe</b> .....	<b>23</b>
	3.1 Bindungskräfte in Polymeren und ihr Temperaturverhalten .....	24
	3.2 Bezeichnung der Kunststoffgruppen .....	26
	3.3 Thermoplaste .....	27
	3.4 Vernetzte Kunststoffe (Elastomere und Duroplaste) ....	29
	3.5 Be- und Verarbeitungsverfahren .....	31
	3.6 Formgebungsverfahren thermoplastischer Kunststoffe	33
	Erfolgskontrolle zur Lektion 3 .....	34
<b>Lektion 4</b>	<b>Formänderungsverhalten von Kunststoffen</b> .....	<b>35</b>
	4.1 Verhalten von Thermoplasten .....	35
	4.2 Amorphe Thermoplaste .....	36
	4.3 Teilkristalline Thermoplaste .....	38
	4.4 Verhalten von vernetzten Kunststoffen .....	39
	Erfolgskontrolle zur Lektion 4 .....	42
<b>Lektion 5</b>	<b>Zeitabhängiges Verhalten von Kunststoffen</b> .....	<b>43</b>
	5.1 Verhalten von Kunststoffen unter Last .....	43
	5.2 Einfluss der Zeit auf das mechanische Verhalten .....	45
	5.3 Rückstellverhalten von Kunststoffen .....	46
	5.4 Temperatur- und Zeitabhängigkeit von Kunststoffen ...	47
	Erfolgskontrolle zur Lektion 5 .....	51
<b>Lektion 6</b>	<b>Physikalische Eigenschaften</b> .....	<b>53</b>
	6.1 Dichte .....	53
	6.2 Wärmeleitfähigkeit .....	54
	6.3 Elektrische Leitfähigkeit .....	55
	6.4 Lichtdurchlässigkeit .....	57
	6.5 Materialkennwerte von Kunststoffen .....	57
	Erfolgskontrolle zur Lektion 6 .....	63
<b>Lektion 7</b>	<b>Grundlagen der Rheologie</b> .....	<b>65</b>
	7.1 Grundlagen .....	65
	7.2 Fließ- und Viskositätskurven .....	68
	7.3 Fließverhalten von Kunststoffschmelzen .....	69

7.4 Schmelzeindex .....	71
Erfolgskontrolle zur Lektion 7 .....	73
<b>Lektion 8 Kunststoffanwendungen .....</b>	<b>75</b>
8.1 Grundlagen .....	75
8.2 Anforderungskriterien – Werkstoffwahl – Fertigungsverfahren .....	76
8.3 Beispiele von Kunststoffanwendungen .....	80
Erfolgskontrolle zur Lektion 8 .....	86
<b>Lektion 9 Aufbereitung von Kunststoffen .....</b>	<b>87</b>
9.1 Grundlagen .....	87
9.2 Dosieren .....	89
9.3 Mischen .....	89
9.4 Plastifizieren .....	91
9.5 Granulieren .....	93
9.6 Zerkleinern .....	95
Erfolgskontrolle zur Lektion 9 .....	96
<b>Lektion 10 Extrusion .....</b>	<b>97</b>
10.1 Grundlagen .....	97
10.2 Extrusionsanlagen .....	98
10.3 Coextrusion .....	107
10.4 Extrusionsblasformen .....	108
10.5 Blasfolienverfahren .....	111
Erfolgskontrolle zur Lektion 10 .....	113
<b>Lektion 11 Spritzgießen .....</b>	<b>115</b>
11.1 Grundlagen .....	115
11.2 Spritzgießmaschine .....	117
11.3 Werkzeug .....	121
11.4 Verfahrensablauf .....	123
11.5 Weitere Spritzgießverfahren .....	127
11.6 Beispiele und Produkte .....	129
Erfolgskontrolle zur Lektion 11 .....	130



<b>Lektion 12</b>	<b>Faserverstärkte Kunststoffe (FVK)</b> .....	<b>131</b>
	12.1 Grundlagen .....	131
	12.2 Werkstoffe .....	132
	12.3 Verfahrensablauf .....	134
	12.4 Handlaminieren .....	134
	12.5 Maschinelle Verarbeitungsverfahren .....	135
	Erfolgskontrolle zur Lektion 12 .....	140
<b>Lektion 13</b>	<b>Kunststoffschaumstoffe</b> .....	<b>141</b>
	13.1 Grundlagen .....	141
	13.2 Beschaffenheit von Schaumstoffen .....	142
	13.3 Herstellung von Schaumstoffen .....	145
	13.4 Beispiele und Produkte .....	148
	Erfolgskontrolle zur Lektion 13 .....	149
<b>Lektion 14</b>	<b>Thermoformen</b> .....	<b>151</b>
	14.1 Grundlagen .....	151
	14.2 Verfahrensschritte .....	153
	14.3 Technische Anlagen .....	155
	14.4 Beispiele und Produkte .....	156
	Erfolgskontrolle zur Lektion 14 .....	157
<b>Lektion 15</b>	<b>Additive Fertigungsverfahren</b> .....	<b>159</b>
	15.1 Grundlagen .....	159
	15.2 Kunststoffe für die additive Fertigung .....	163
	15.3 Verfahrensschritte und Prozessparameter .....	164
	15.4 Beispiele und Produkte .....	167
	Erfolgskontrolle zur Lektion 15 .....	169
<b>Lektion 16</b>	<b>Schweißen von Kunststoffen</b> .....	<b>171</b>
	16.1 Grundlagen .....	171
	16.2 Verfahrensschritte .....	172
	16.3 Schweißverfahren .....	173
	16.4 Beispiele und Produkte .....	179
	Erfolgskontrolle zur Lektion 16 .....	181

<b>Lektion 17</b>	<b>Spanende Bearbeitung von Kunststoffen</b> .....	<b>183</b>
	17.1 Grundlagen .....	183
	17.2 Spanende Verfahren .....	184
	Erfolgskontrolle zur Lektion 17 .....	189
<b>Lektion 18</b>	<b>Kleben von Kunststoffen</b> .....	<b>191</b>
	18.1 Grundlagen .....	191
	18.2 Klebbarkeit und Klebverbindungen .....	194
	18.3 Einteilung der Klebstoffe .....	196
	18.4 Ausführung der Klebung .....	197
	18.5 Beispiele und Produkte .....	198
	Erfolgskontrolle zur Lektion 18 .....	199
<b>Lektion 19</b>	<b>Kunststoffabfälle</b> .....	<b>201</b>
	19.1 Grundlagen .....	201
	19.2 Kunststoffproduktion und deren Einsatzgebiete .....	202
	19.3 Kunststoffprodukte und ihre Lebensdauer .....	204
	19.4 Vermeidung und Verwertung von Kunststoffabfällen ...	206
	19.5 Kreislaufwirtschaft im Kunststoffbereich .....	207
	Erfolgskontrolle zur Lektion 19 .....	209
<b>Lektion 20</b>	<b>Recycling von Kunststoffen</b> .....	<b>211</b>
	20.1 Grundlagen .....	211
	20.2 Werkstoffliches Recycling .....	213
	20.3 Rohstoffliches Recycling .....	216
	20.4 Energetische Verwertung .....	217
	20.5 Verwertung von Kunststoffabfällen .....	219
	20.6 Beispiele und Produkte .....	220
	Erfolgskontrolle zur Lektion 20 .....	224
<b>Lektion 21</b>	<b>Qualifizierung in der Kunststoffverarbeitung</b> .....	<b>225</b>
	21.1 Grundlagen .....	225
	21.2 Kunststoffausbildung in der Industrie .....	226
	21.3 Kunststoffausbildung im Handwerk .....	233

<b>Anhang – Weiterführende Literatur .....</b>	<b>237</b>
<b>Anhang – Glossar Technologie der Kunststoffe .....</b>	<b>241</b>
<b>Anhang – Lösungen .....</b>	<b>257</b>

# Arbeiten mit dem Lern- und Arbeitsbuch

## **Einführung**

Das vorliegende Buch „Technologie der Kunststoffe“ führt in die Welt der Kunststoffe ein. Die Verwendung des Plurals „Kunststoffe“ statt der singulären Form „Kunststoff“ zeigt schon, dass wir es mit einer Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe zu tun haben, die sich in ihrem Verhalten unter Wärmeeinfluss oder in ihrer Verarbeitbarkeit deutlich voneinander unterscheiden können. Sie werden aber alle der Werkstoffklasse der Kunststoffe zugeordnet, weil sie synthetisch hergestellt sind, was so viel heißt wie neu zusammengesetzt und somit in dieser Form nicht in der Natur vorkommen.

## **Lektionen**

Das Lernbuch „Technologie der Kunststoffe“ ist in Lerneinheiten unterteilt, die als Lektionen bezeichnet werden. Jede Lektion umfasst einen geschlossenen Themenkreis. Die einzelnen Lektionen sind etwa gleich lang und sind so angelegt, dass sie vom Lernenden in einer Lernsequenz bearbeitet werden können.

## **Leitfragen**

Die Leitfragen zu Beginn einer jeden Lektion sollen dem Lernenden helfen, mit bestimmten Fragen an den Lernstoff heranzugehen, die er beantworten kann, nachdem er die Lektion durchgearbeitet hat.

## **Vorwissen**

Die Lektionen müssen nicht in einer bestimmten Reihenfolge bearbeitet werden. Jeder Lektion ist deshalb eine Information zugeordnet, aus der hervorgeht, welche Lektionen oder Inhalte zum Verstehen der vorliegenden Lektion wichtig sind.

### **Themenkreis**

Die Lektionen lassen sich jeweils übergeordneten Themenbereichen zuordnen. Zu Beginn einer jeden Lektion ist deshalb vermerkt, zu welchem Themenkreis die vorliegende Lektion gehört.

### **Erfolgskontrollen**

Die Erfolgskontrollen am Ende eines jeden Kapitels dienen dazu, das erarbeitete Wissen zu überprüfen. Von der vorgegebenen Antwortauswahl ist die richtige Antwort auszuwählen und in den im Text vorgesehenen Freiraum einzutragen. Die Richtigkeit der Antworten kann mithilfe der Lösungen, die am Ende des Buches zu finden sind, überprüft werden. Falls die ausgewählte Antwort falsch war, sollte der entsprechende Sachverhalt ein weiteres Mal durchgearbeitet werden.

### **Beispiel: „Optische Datenträger“ (CD, CD-ROM, DVD, Blu-Ray-Disk)**

Um das Verständnis für Kunststoffe zu erhöhen und das Denken in Zusammenhängen zu verbessern, wurde als Beispiel ein Formteil aus Kunststoff ausgewählt, das sich in vielen Lektionen des Buches wiederfindet. An diesem Produkt wird gezeigt, warum zum Beispiel ein bestimmter Kunststoff zur Herstellung von „Optischen Datenträgern“, wie etwa die CD besonders gut geeignet ist und auch gefragt, ob sich dieser Kunststoff wiederverwerten lässt.

### **Zusätzliche Informationen**

Literatur, Glossar, Berufe und Abkürzungen: Der Anhang liefert für den interessierten Leser ergänzendes Material zu den Kunststoffen. Anhand der ausgewählten Literaturliste kann er sich über weiterführende Fachliteratur informieren. Das Glossar soll zu einem einheitlichen Verständnis der verwendeten Begriffe beitragen, und es kann als eine Art Kurz-Lexikon verwendet werden. Die Informationen zum Berufsbild der/des „Verfahrensmechaniker/Verfahrensmechanikerin für Kunststoff- und Kautschuktechnik“ sowie „Werkstoffprüfer/Werkstoffprüferin Fachrichtung Kunststoff“ bieten die Möglichkeit, sich genauer über die Aufgaben dieser Kunststoffberufe und die unterschiedlichen Fachrichtungen sowie über die Weiterbildungsmöglichkeiten und Aufstiegschancen in diesem Berufsbereich zu informieren. Ein Abkürzungsverzeichnis mit allgemeinen sowie kunststoffspezifischen Abkürzungen erleichtert den Umgang mit den fachlichen Inhalten. Die wichtigsten physikalischen Größen mit ihren Formelzeichen wurden ebenfalls aufgenommen.

# Kurzzeichen und Abkürzungen

## Physikalische Größen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
$A$	Fläche	$m^2$
$a$	Achsabstand	m
$\alpha$	Flankenwinkel (griech.: „alpha“)	°
$\text{Å}$	Ångström ( $1 \text{ Å} = 10^{-10}$ )	m
$b$	Gangbreite	m
$bn$	Billion	
$D$	Schneckendurchmesser	m
$d$	Kerndurchmesser	m
$e$	Stegbreite	m
$E\text{-Modul}$	Elastizitätsmodul	MPa
$\epsilon$	Dehnung (griech.: „epsilon“)	%
$F$	Kraft (engl.: „force“)	N
$\dot{\gamma}$	Schergeschwindigkeit (griech.: „gamma Punkt“)	1/s
$h$	Gangtiefe	m
$\eta$	Viskosität (griech.: „eta“)	Pa s
$i$	Gangzahl	n (Anzahl)
$J$	Joule	W s = N m
$l$	Wärmeleitfähigkeit (griech.: „lambda“)	W/mK°
$L/D$	Schneckenlänge zu Schneckendurchmesser	1
$M$	Drehmoment	Nm
$Mt$	Millionen Tonnen	
$P$	Leistung	W
$\phi$	Gangsteigungswinkel (griech.: „phi“)	°
$Q$	Volumenstrom	$m^3/s$
$Q$	Wärmemenge	J
$qm = \dot{m}$	Massenstrom	kg/s

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
$R$	Widerstand	$\Omega$ (Ohm)
$s$	Schneckenspiel	m
$\sigma$	Zugfestigkeit (griech.: „sigma“)	N/m <sup>2</sup> bzw. Pa
$t$	Gangsteigung	
$t$	Tonne	1000 kg
$T$	Temperatur	°C
$\tau$	Schubspannung (griech.: „tau“)	N/m <sup>2</sup>
$T_f$	Fließtemperaturbereich (auch FT)	°C
$T_G$	Glasübergangs- oder Erweichungstemperaturbereich (auch ET)	°C
$T_K$	Kristallitschmelztemperaturbereich (auch KSB)	°C
$v$	Geschwindigkeit	m/s

## Kunststoffe

Abkürzung	Erläuterung
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (amorphes Copolymer)
BR	Polybutadien (Allzweckkautschuk; Butadien-Rubber)
C	Kohlenstoff (lat. „Carbonium“)
CAMPUS	Computer Aided Material Preselection by Uniform Standards
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (Verbundwerkstoff aus Kohlenstofffasern (CF) mit einer polymeren Matrix)
Cl	Chlor
CR	Polychloropren (Spezialkautschuk)
EP	Epoxidharz
ET	Erweichungstemperaturbereich (auch $T_G$ = Glasübergangstemperaturbereich)
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer
EX	Extrusion
F	Fluor
FIT	Fluidinjektionstechnik
FT	Fließtemperaturbereich (auch $T_f$ )
FVK	Faserverstärkte Kunststoffe
GFK	Glasfaserverstärkte Kunststoffe sind Verbundwerkstoffe aus Glasfasern (GF) und einer polymeren Matrix
GIT	Gasinjektionstechnik, auch Gasinnendruck-Spritzguss
GKV	Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie
GMT	Glasmattenverstärkte Thermoplaste

Abkürzung	Erläuterung
H	Wasserstoff (lat. Hydrogenium)
IKV	Institut für Kunststoffverarbeitung
KSB	Kristallitschmelztemperaturbereich (auch $T_k$ )
KV	Kunststoffverarbeitung
KVI	Kunststoffverarbeitende Industrie
MFR	Melt Flow Rate (engl.) = Schmelze-Massenfließrate wird durch Melt Volume Rate (MVR) ersetzt
MVR	Melt Volume Rate (engl.) = Schmelze-Volumenfließrate, umgangssprachlich auch MVI (Melt Volume Index)
N	Stickstoff (lat. Nitrogenium)
NR	Natural Rubber (Naturkautschuk)
O	Sauerstoff (lat. Oxygenium)
PA	Polyamid (teilkristalliner Thermoplast)
PC	Polycarbonat (amorpher Thermoplast)
PE	Polyethylen (teilkristalliner Thermoplast)
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte (High Density)
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte (Low Density)
PEEK	Polyetheretherketon (teilkristalliner Thermoplast, hochtemperaturbeständig)
PES	Polyethersulfon (amorpher Thermoplast)
PET	Polyethylenterephthalat (teilkristalliner Thermoplast)
PF	Phenol/Formaldehydharz
PMMA	Polymethylmethacrylat (amorpher Thermoplast)
POM	Polyoxymethylen (teilkristalliner Thermoplast), auch Polyacetat genannt
PP	Polypropylen (teilkristalliner Thermoplast)
PS	Polystyrol (amorpher/teilkristalliner Thermoplast)
PUR	Polyurethan (Elastomer)
PVC	Polyvinylchlorid (amorpher Thermoplast)
RIM	Niederdruck-Spritzgussverfahren = Reaction-Injection-Molding (engl.)
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk
SMC	Sheet-Molding-Compound (engl.)
SG	Spritzgießen
UP	Ungesättigtes Polyesterharz
WIT	Wasserinjektionstechnik
ZT	Zersetzungstemperaturbereich



## Allgemeine Begriffe

Abkürzung	Erläuterung
Al	Aluminium (umgangssprachlich auch Alu)
AMS	Arbeitsschutzmanagement-System
AS	Arbeitssicherheit
ASI	Austrian Standards International
AT (AUT)	Austria, Österreich (.at)
AV	Arbeitsvorbereitung
BBiG	Berufsbildungsgesetz
BG	Berufsgenossenschaft
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regeln
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschriften
BluRay-Disc	HD-DVD = High Density - Digital Versatile Disc
CAD	Computer Aided Design (rechnerunterstütztes Konstruieren)
CAE	Computer Aided Engineering (rechnerunterstütztes Entwickeln)
CAQ	Computer Aided Quality (rechnerunterstützte Qualität)
CAM	Computer Aided Manufacturing (rechnergestützte Fertigung)
CD	Compact Disc
CEN	Europäischen Komitee für Normung
CH (CHE)	Conföderatio Helvetica, Schweiz (.ch)
CIM	Computer Integrated Manufacturing (rechnerintegrierte Fertigung)
CNC	Computerized Numerical Control (rechnerkontrollierte Maschinensteuerung)
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung (früher Deutsche Industrie-Norm)
DSD	Duales System Deutschland
DE (DEU)	Deutschland (.de)
DV	Datenverarbeitung (früher gebräuchlich: EDV = Elektronische Datenverarbeitung)
DVD	Digital Versatile Disc
EBS	Ersatzbrennstoffe
EG	Europäische Gemeinschaft (siehe auch EU)
EN	Deutsche Fassung der für ganz Europa gültigen Norm (EN = Europäische Norm)
EU	Europäische Union (siehe auch EG)
FEM	Finite Elemente Methode, (engl.: finite-element method)
FVM	Finite-Volumen-Methode (engl.: finite-volume method)

Abkürzung	Erläuterung
GG	Grundgesetz
HD	High Density (engl.) = hohe Dichte
LD	Low Density (engl.) = geringe Dichte
LP	Langspielplatte
IMS	Integrierte Managementsysteme (siehe auch QM, UMS)
IR	Infrarot
ISO	International Standard Organisation
JIS	Just in Sequence
JIT	Just in Time
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Klein- und Mittelunternehmen (siehe auch SME)
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LCA	Life Cycle Assesment (engl.) bzw. Lebenszyklusanalyse oder auch umgangssprachlich Ökobilanz
LKW	Lastkraftwagen
log	logarithmisch (nicht linear)
MaschR	Maschinenrichtlinie der EG
MVA	Müllverbrennungsanlage
OEG	Obere Eingriffsgrenze (siehe auch UEG)
ÖN	Österreichische Norm
PCDA	Plan-Check-Do-Act (deutsch: „Planen-Tun-Überprüfen-Umsetzen“ oder „Planen-Umsetzen/Ausführen-Kontrollieren/Überprüfen-Handeln“)
PKW	Personenkraftwagen
PWE	Planetenwalzenextruder
QM	Qualitätsmanagement (siehe auch IMS)
QMS	Qualitätsmanagement-System
QRK	Qualitätsregelkarte bzw. Quality Control Chart (engl.)
QS	Qualitätssicherung (siehe auch IMS)
REM	Randelementmethode (engl.: boundary-element method, BEM)
SME	Small and medium-sized enterprises (engl.) (siehe auch KMU)
SN	Schweizerische Norm
SNV	Schweizerische Normen-Vereinigung
SPC	Statistical Process Control (engl.) = statistische Prozesskontrolle
TQM	Total Quality Management (engl.) = Umfassendes Qualitätsmanagement
UEG	Untere Eingriffsgrenze (siehe auch OEG)
UMS	Umweltmanagement-System
UV	Ultraviolett

Abkürzung	Erläuterung
UVV	Unfallverhütungsvorschriften (siehe auch VBG)
VerpackG	Verpackungsgesetz von 2019 (ersetzt die VerpackV)
VerpackV	Verpackungsverordnung (von 1998, Neuregelung 2014)
VBG	Verordnung der Berufsgenossenschaft (siehe auch UVV)
VDA	Verband der deutschen Automobilindustrie
WZM	Werkzeugmaschine

## Akademische Grade

Abkürzung	Erläuterung
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur (alte Bezeichnung in Deutschland für B.Eng. bzw. B.Sc. sowie M.Eng. bzw. M.Sc.)
B.Eng.	Bachelor of Engineering
B.Sc.	Bachelor of Science
M.Eng.	Master of Engineering
M.Sc.	Master of Science

# Kunststoff – ein künstlicher Stoff?

<b>Leitfragen</b>	Wo begegnen uns Kunststoffe im Alltag? Seit wann verwenden wir Kunststoffe? Woraus ist die Compact Disc (CD) hergestellt?
<b>Inhalt</b>	Kunststoffe – Teil unseres Alltags Kunststoffe – vielseitige Werkstoffe Kunststoffe – junge Werkstoffe

## Kunststoffe – Teil unseres Alltags

In unserer Umgebung haben sich Kunststoffe im täglichen Gebrauch als völlig selbstverständlich durchgesetzt. Man macht sich weder bei der Verwendung von Gefrierbeuteln noch bei der Benutzung von Handys Gedanken darüber, warum diese Produkte aus Kunststoff sind.

Kunststoffe ...

Warum werden zunehmend mehr Getränkeflaschen aus Kunststoff statt aus Glas eingesetzt?

Hier spielt das Gewicht die entscheidende Rolle. Die leichtere Kunststoffflasche ist genügend stabil, um die darin abgefüllten Flüssigkeiten zu transportieren. Sie ist energiesparender herzustellen und spart durch den Transport des leichteren Gewichtes Kraftstoff sowie CO<sub>2</sub> ein. Auch der Verbraucher profitiert von dem leichteren Gewicht der Kunststoffflasche beim Transport.

... sind leicht

Warum sind Stromkabel mit Kunststoff und nicht etwa mit Porzellan oder Stoffgewebe ummantelt?

Die Ummantelung aus Kunststoff ist flexibler als Porzellan und robuster als das Stoffgewebe und isoliert das Kabel doch genauso gut, wenn nicht noch besser.

... isolieren gegen Strom und können flexibel sein

Warum ist ein Kühlschrank von innen mit Kunststoff ausgekleidet?

Weil der Kunststoff zum einen robust ist und zum anderen die Wärme schlecht leitet und sich so die niedrigen Temperaturen besser halten lassen. Des Weiteren sind die Flächen leicht zu reinigen.

... dämmen gegen Wärme

... dämmen gegen Kälte Umgekehrt verhält es sich z. B. bei der Isolierung von Häusern. Hier helfen geschäumte Kunststoffe, die Wärme länger im Haus zu halten. Heizkosten, aber auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß werden deutlich reduziert.

Warum ist die CD aus Kunststoff?

Weil der Kunststoff Polycarbonat (PC) so lichtdurchlässig wie Glas ist. Gleichzeitig ist er leichter als Glas und nicht zerbrechlich.

... sind preiswerte Werkstoffe Hinzufügen muss man bei allen Beispielen natürlich auch den Preis. Kunststoffe zu verwenden, ist vor allem bei Massenartikeln oft die preiswertere technische Lösung. Warum das so ist, und welche Probleme dabei oft beiseitegelassen werden (z. B. die Abfallbeseitigung), werden wir später betrachten.

### **Kunststoffe – vielseitige Werkstoffe**

- Holz Vor der Entwicklung der Kunststoffe lieferte ausschließlich die Natur leichte Werkstoffe. Holz lässt sich leicht verarbeiten, ist fest und biegsam und mithilfe spezieller Verfahren auch dauerhaft verformbar. Natur-Kautschuk, ein Rohstoff des Gummis, ist elastisch und dehnbar.
- Natur-Kautschuk
- natürliche Werkstoffe Mit den Eigenschaften der Naturstoffe konnte der Mensch jedoch nicht alle technischen Probleme lösen. So suchte man nach neuen Stoffen, die eben die geforderten Eigenschaften erfüllten. Den Chemikern gelang es erst in unserem Jahrhundert, den Molekularaufbau der natürlichen Werkstoffe wie z. B. Kautschuk<sup>1</sup> so weit zu erforschen, dass man in der Lage war, diese Stoffe künstlich herzustellen.
- Insofern war das Wärme isolierende Neopren (Neoprenanzüge), das im Jahre 1930 auf den Markt kam und das aus Kautschuk gewonnen wurde, eine erste große Anwendung der neuen Werkstoffgruppe.
- Legosteine Ein weiteres Beispiel für die Vielfalt der Kunststoffe sind die 1958 auf den Markt gekommenen sogenannten „Legosteine“, die zunächst aus Zelluloseacetat und später aus ABS hergestellt werden. Die hohe Qualität dieses allbekanntes Kunststoffproduktes zeigt sich daran, dass auch noch nach 50 Jahren die Passgenauigkeit voll gewährleistet ist.
- ideale Eigenschaften Die heute hergestellten Kunststoffe sind den natürlichen Werkstoffen in ihren Eigenschaften oft weit überlegen. Für die unterschiedlichsten Zwecke besitzt man jetzt Stoffe, deren Eigenschaften an die jeweilige Anwendung ideal angepasst sind.
- werkstoffliche Eigenschaften Einem Kunststoffteil kann man von außen nicht ansehen, für welche Zwecke es am besten geeignet ist. Dazu müsste man etwas über den inneren Aufbau des Werkstoffs wissen. Dann hat man beispielsweise Informationen über Dichte, Leitfähigkeit, Durchlässigkeit oder Löslichkeit, die sogenannten werkstoffspezifischen Eigenschaften.

## Kunststoffe – junge Werkstoffe

Die gezielte Umwandlung von Naturstoffen in die heute unter dem Namen „Kunststoffe“ bekannten Materialien begann im 19. Jahrhundert. Eine wirtschaftliche Bedeutung erlangten sie jedoch erst in den Dreißigerjahren des letzten Jahrhunderts, als das Modellbild vom Aufbau der Kunststoffe von Prof. Hermann Staudinger entwickelt wurde. Der deutsche Chemiker H. Staudinger (1881 bis 1965) erhielt 1953 für diese Forschungen den Nobelpreis.

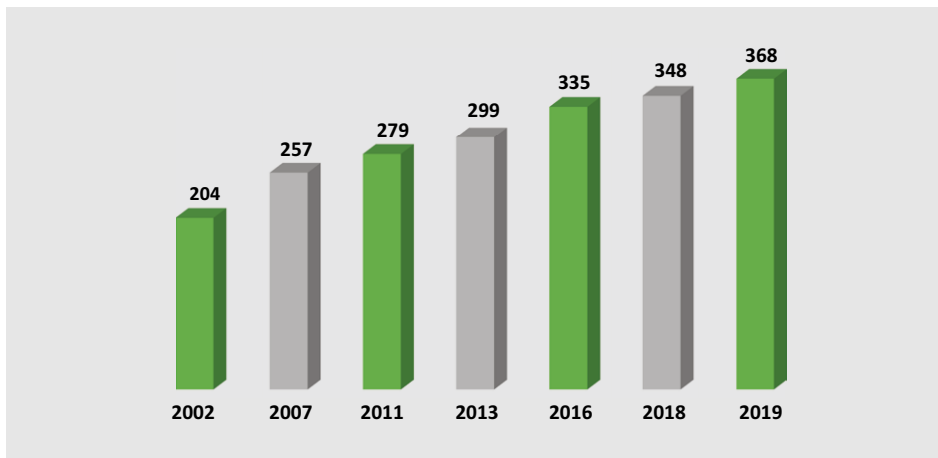
Modellbild Kunststoffe  
Nobelpreis

Der weltweite Aufschwung der Kunststoffindustrie begann nach dem Zweiten Weltkrieg. Zunächst wurde als Ausgangsmaterial Kohle verwendet, erst Mitte der Fünfzigerjahre erfolgte die Umstellung auf Erdöl. Der Vorteil dieser Umstellung lag darin, dass man die bis dahin wertlosen Raffinationsanteile, die beim Cracken (to crack = brechen) von Rohöl als Spaltprodukte abfielen, sinnvoll verwenden konnte. Die stark ansteigende Kunststoffproduktion wurde erst durch die Ölkrise 1973 etwas gebremst. Trotzdem verzeichnen diese Werkstoffe bis heute eine überdurchschnittliche, dynamische Entwicklung.

Erdöl

Die weltweite Produktion von Kunststoffen zeigt eine kontinuierliche Steigerungsrate von 3 bis 5 % pro Jahr (vgl. Bild 1).

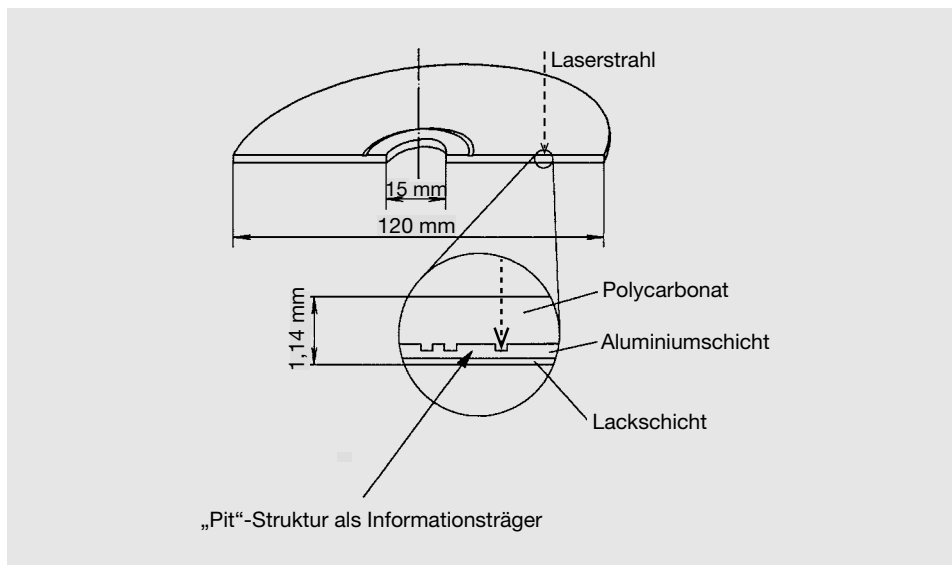
Substitution von klassischen Werkstoffen



**Bild 1** Weltweite Produktion von Kunststoffen in Mio. Tonnen [Quelle: Plastics Europe]

Der Einsatz von Kunststoffen ist jedoch nur dann optimal, wenn ihre besonderen Merkmale berücksichtigt werden. Gerade bei der Substitution (substituieren = ersetzen) von klassischen Werkstoffen wie Holz oder Metall müssen eine kunststoffgerechte Konstruktion berücksichtigt werden, damit die Kunststoffe ihre vielfältigen Möglichkeiten zur Anwendung bringen können. Die passenden Verarbeitungsverfahren müssen ebenso bekannt sein wie entsprechende Materialkennwerte.

- optische Datenträger Diese kunststoffgerechte Vorgehensweise bedingt ein grundsätzliches Verständnis der Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren sowie des Werkstoffverhaltens. Mit diesem Buch soll ein erster umfassender Überblick über das Thema Kunststoffe gegeben werden. Wir wollen dabei ein technisches Kunststoffbauteil auf seinem Weg vom Ausgangsmaterial Rohöl über die Produktion bis hin zur Entsorgung durch Recycling verfolgen. Dieses Teil wird die Compact Disc (CD) bzw. die DVD sein, die jedem bekannt sein dürfte. Sie ist damit besonders geeignet, die moderne Kunststoffverarbeitung als Beispiel zu begleiten.
- CD Das folgende Bild 2 zeigt eine CD, die im Spritzgießverfahren hergestellt wird, mit ihren Abmessungen.



**Bild 2** Compact-Disc (CD) und deren Abmessungen

- DVD Die modernen Geschwister der CD, beispielsweise die DVD (Digital Versatile Disc) und die HD-DVD bzw. Blu-Ray-Disc werden nicht im klassischen SG-Verfahren hergestellt. Durch den mehrschichtigen Aufbau müssen deutlich dünnere Scheiben hergestellt werden. Sie werden spritzgeprägt und in einem weiteren Schritt miteinander verklebt.
- Blu-Ray (HD-DVD)
- Langspielplatte (LP) Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Langspielplatte (LP) als Vorgängertechnologie der CD für hochwertige Musik aus Kunststoff war. Die LP kam 1948 auf den Markt. Auch damals hat die neue Werkstoffgruppe der „Kunststoffe“ entscheidend zum weltweiten Erfolg eines Mediums beigetragen. Die LP ist aus dem gegen äußere Einflüsse sehr widerstandsfähigen Material PVC (Polyvinylchlorid) hergestellt, demselben Material, aus dem auch z.B. Kunststofffenster gefertigt werden.
- Polyvinylchlorid (PVC)

# Grundlagen der Kunststoffe

<b>Themenkreis</b>	Grundlagen der Kunststoffe
<b>Leitfragen</b>	Wie können Kunststoffe definiert werden? Woraus stellt man Kunststoffe her? Wie teilt man Kunststoffe ein? Aus welchem Kunststoff ist die CD? Sind Kunststoffe wiederverwertbar? Welche Eigenschaften haben Kunststoffe? Wo werden Kunststoffe überall eingesetzt?
<b>Inhalt</b>	1.1 Was sind „Kunststoffe“? 1.2 Woraus macht man Kunststoffe? 1.3 Wie teilt man Kunststoffe ein? 1.4 Wie werden Kunststoffe bezeichnet? 1.5 Welche physikalischen Eigenschaften haben Kunststoffe? Erfolgskontrolle zur Lektion 1

## ■ 1.1 Was sind „Kunststoffe“?

Der Name „Kunststoff“ steht nicht allein für ein Material. So wie man etwa mit „Metall“ nicht nur Eisen oder Aluminium bezeichnet, ist der Name „Kunststoff“ der Oberbegriff für viele in Aufbau, Eigenschaften und Zusammensetzung verschiedene Stoffe. Die Eigenschaften der Kunststoffe sind so vielfältig, dass diese oft an die Stelle von herkömmlichen Werkstoffen wie Holz oder Metall treten oder diese ergänzen.

Oberbegriff



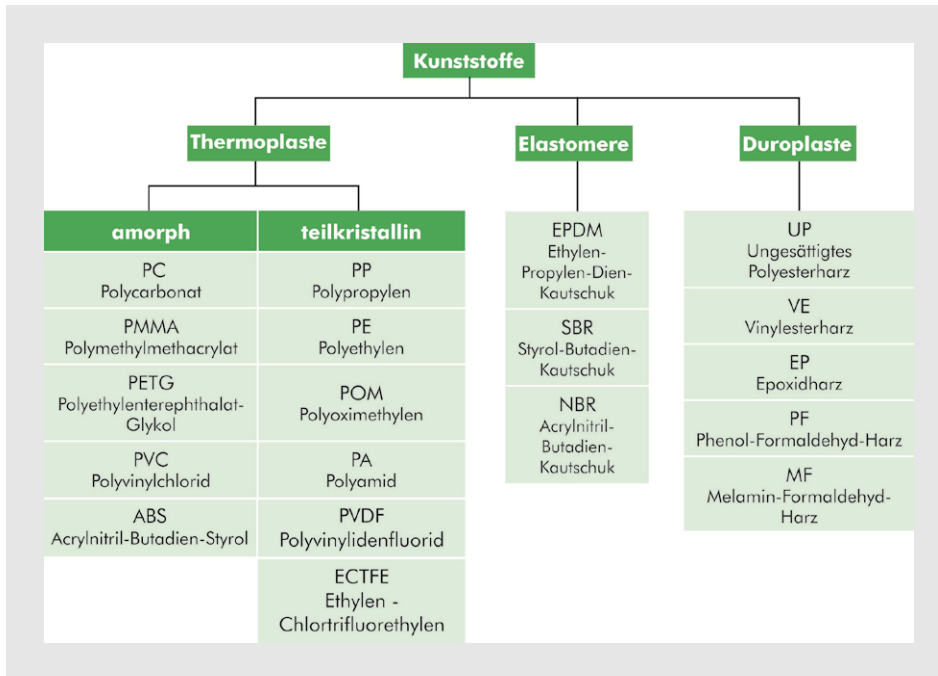
- Makromolekül** Kunststoffe haben alle eins gemeinsam. Sie entstehen durch die Verknäuelung oder Verkettung von sehr langen Molekülketten, den sogenannten Makromolekülen (makro = groß). Diese Makromoleküle bestehen oft aus mehr als 10 000 Einzelbausteinen. In diesen Molekülketten sind die einzelnen Bausteine wie Perlen auf einer Kette hintereinander angeordnet. Man kann sich den Kunststoff ähnlich einem Wollknäuel aus vielen einzelnen Fäden vorstellen. Ein einzelner Faden lässt sich nur sehr schwer aus dem Knäuel herausziehen. Ähnlich ist es auch beim Kunststoff, bei dem sich die Makromoleküle gegenseitig „festhalten“. Da die Makromoleküle und damit die Kunststoffe aus vielen Einzelbausteinen, den Monomermolekülen (mono = einzeln, meros = Teil), aufgebaut sind, nennt man sie allgemein auch Polymere (poly = viel).
- Definition** Kunststoffe sind Materialien, deren wesentliche Bestandteile aus makromolekularen, organischen Verbindungen bestehen, die synthetisch oder durch Umwandlung von Naturprodukten entstehen. Sie sind in der Regel bei der Verarbeitung unter bestimmten Bedingungen (Wärme, Druck) plastisch formbar oder sind plastisch verformt worden.

## ■ 1.2 Woraus macht man Kunststoffe?

- Monomere** Die Ausgangsstoffe für die Polymere heißen „Monomere“. Aus den einzelnen Ausgangsstoffen kann man oft mehrere verschiedene Polymere herstellen, indem man das Herstellungsverfahren ändert oder verschiedene Mischungen herstellt.
- Ausgangsstoffe  
Raffinerieprodukte** Die Ausgangsstoffe für die Monomere sind hauptsächlich Erdöl und Erdgas. Da für die Herstellung allein der Kohlenstoff von Bedeutung ist, könnte man theoretisch Monomere auch aus Holz, Kohle oder sogar dem CO<sub>2</sub> in der Luft erzeugen. Diese Stoffe werden aber nicht eingesetzt, weil die Herstellung aus Gas und Öl preiswerter ist. Einige Monomere waren vor vielen Jahren noch Abfallstoffe bei der Herstellung von Benzin oder Heizöl. Der hohe Verbrauch an Kunststoffen macht heute die gezielte Herstellung dieser „Abfallmonomere“ in Raffinerien notwendig.

## ■ 1.3 Wie teilt man Kunststoffe ein?

Man unterscheidet drei große Werkstoffgruppen von Kunststoffen, die in Bild 1.1 aufgeführt und mit Beispielen belegt sind.



**Bild 1.1** Einteilung der Kunststoffe

**Thermoplaste** (thermos = warm; plasso = bilden, bildsam) sind schmelzbar und löslich. Sie können mehrfach wieder eingeschmolzen werden und sind in vielen Lösemitteln löslich oder zumindest quellbar. Sie sind bei Raumtemperatur weich bis hartzäh oder hartspröde. Man unterscheidet zwischen amorphen (amorph = ungeordnet) Thermoplasten, die im molekularen Ordnungszustand dem Glas ähneln und glasklar sind, und teilkristallinen Thermoplasten, die ein milchig-opakes Aussehen haben. Wenn ein Kunststoff glasklar durchsichtig ist, kann man mit ziemlicher Sicherheit sagen, dass es ein amorpher Thermoplast ist. Thermoplaste machen mengenmäßig den größten Kunststoffanteil aus.

Thermoplaste

amorpher Thermoplast  
teilkristalliner Thermo-  
plast

Den Deckel der Hülle unserer CD werden wir also aus einem amorphen Werkstoff herstellen, denn er soll ja durchsichtig sein, um das Titelverzeichnis lesen zu können. Der Kunststoff der CD selbst ist auch durchsichtig. Sie wird von einer Seite zuerst meistens mit Aluminium bedampft (die Aluminiumschicht wirkt wie ein Spiegel) und dann bedruckt, sodass der Laserstrahl nicht durch sie hindurch geht, sondern reflektiert wird.

CD

**Duroplaste** (duros = hart) sind hart, und in allen Raumrichtungen engmaschig vernetzt. Sie sind nicht plastisch verformbar, nicht schmelzbar und dabei sehr temperaturbeständig. Weil Duroplaste räumlich sehr stark vernetzt sind, kann man sie nicht lösen und nur sehr schwer quellen. Bei Raumtemperatur sind sie hart und spröde. Steckdosen werden zum Beispiel aus Duroplasten hergestellt.

Duroplaste

Elastomere **Elastomere** (elastisch = federnd; meros = Teil) sind nicht schmelzbar, unlöslich, aber quellbar. Sie sind räumlich weitmaschig vernetzt und deshalb bei Raumtemperatur in elastischweichem Zustand. Ein Beispiel für Elastomere sind Einweckgummis oder Reifen.

## ■ 1.4 Wie werden Kunststoffe bezeichnet?

DIN EN ISO 1043-1 Nach der DIN EN ISO 1043-1 werden Kunststoffe mit Zeichenfolgen (Kurzzeichen) bezeichnet, die auf ihren chemischen Aufbau schließen lassen. Zusätzliche Buchstaben (Codes) kennzeichnen die Verwendung, Füllstoffe und Grundeigenschaften wie Dichte oder Viskosität nach DIN EN ISO 1043-2 und DIN EN ISO 1043-3. Ein Beispiel ist in Tabelle 1.1 gegeben.

PE-HD **Tabelle 1.1** Beispiel für die normgerechte Kunststoffbezeichnung

**Bezeichnung des Kunststoffs:**

PE-HD

**Stoffname:**

Lineares Polyethylen hoher Dichte

**Kurzzeichen des Polymer-Grundproduktes:**

**PE** = Polyethylen

**Code-Buchstaben der zusätzlichen Eigenschaften:**

**H** = 1. Kennbuchstabe für besondere Eigenschaften: H = hoch

**D** = 2. Kennbuchstabe für besondere Eigenschaften: D = Dichte

Beispiel PC Die CD wird aus Polycarbonat (PC) hergestellt. PC ist ein thermoplastischer Kunststoff, der nach DIN EN ISO 7391 klassifiziert wird.

In der Bezeichnung „PC,MLR,61-09-3“ steht PC für Polycarbonat, M steht für das Spritzgießverfahren, L bezieht sich auf den Licht- und Witterungsstabilisator und R steht für ein Formtrennmittel. Die Zahlenfolge 61 steht für die Viskosität (59 ml/g), die Zahlenfolge 0 steht für die Schmelze-Volumenfließrate (MVR 300/1,2 von 9,5 cm<sup>3</sup>/g) und die Zahl 3 bezeichnet die Schlagzähigkeit (35 kJ/m<sup>2</sup>).

Größen und Werte Die zahlreichen hier angegebenen Größen und Werte sollen zunächst einmal nur zur Kenntnis genommen werden. Vielleicht lesen Sie sich diesen Abschnitt nach der Lektüre dieses Buches noch einmal durch, um viele der bis jetzt noch unbekannteren Begriffe wie „Formmasse“ oder „MFR-Wert“ (Melt Flow Rate), der die Fließfähigkeit des Kunststoffs beschreibt, richtig einordnen zu können.

## ■ 1.5 Welche physikalischen Eigenschaften haben Kunststoffe?

### Kunststoffe sind leicht

Kunststoffe sind typische Leichtbauwerkstoffe, in aller Regel sind sie leichter als Metalle oder Keramik. Weil manche Kunststoffe leichter als Wasser sind, können diese auf der Wasseroberfläche schwimmen. Sie werden als Leichtbauteile zum Bau von Flugzeugen, in der Automobilproduktion sowie für Verpackungen oder Sportgeräte verwendet. Zum Beispiel ist Aluminium drei Mal so schwer und Stahl acht Mal so schwer wie der Kunststoff Polyethylen (PE).

Leichtbauwerkstoffe

Die CD dreht sich mit einer Geschwindigkeit von 200 bis 500 Umdrehungen pro Minute. Damit der Motor des CD-Players schnell anfahren und trotzdem klein bleiben kann, ist es wichtig, dass die CD leicht ist.

CD

### Kunststoffe lassen sich leicht verarbeiten

Die Verarbeitungstemperatur von Kunststoffen erstreckt sich von Raumtemperatur bis etwa 250 °C und in einigen Sonderfällen auch bis 400 °C. Durch diese niedrige Temperatur, die für Stahl bei über 1400 °C liegt, ist die Verarbeitung nicht so aufwendig, und es wird relativ wenig Energie benötigt. Dies ist ein Grund für die ziemlich niedrigen Fertigungskosten auch komplizierter Teile. Die verschiedenen Verarbeitungsverfahren wie Spritzgießen oder Extrudieren werden später noch ausführlich vorgestellt.

Verarbeitungstemperatur

### Kunststoffe lassen sich gezielt in ihren Eigenschaften optimieren

Die niedrige Verarbeitungstemperatur ermöglicht auch die Einarbeitung von Zusätzen vielfältiger Art, wie Farbstoffe, Füllstoffe (z.B. Holzmehl, Mineralpulver), Verstärkungsmittel (z.B. Glas- oder Kohlenstofffasern) und Treibmittel zur Herstellung von Schaumkunststoffen.

Zusätze

Farbmittel ermöglichen das Einfärben des Werkstoffs. Ein nachträgliches Lackieren entfällt hierdurch in den meisten Fällen.

Farbmittel

Anorganische Füllstoffe in Pulver- und Sandform können mit einem hohen Anteil (bis zu 50 %) verwendet werden. Sie steigern den E-Modul und die Druckfestigkeit und machen den Kunststoff teilweise preiswerter. Organische Füllstoffe wie (Textil-) Fasern-Gewebe oder Zellulosebahnen erhöhen die Zähigkeit. Ruß wird z.B. in Autoreifen (Elastomere!) eingearbeitet. Er verbessert die mechanischen Eigenschaften (Abriebbeständigkeit), erhöht die Wärmeleitfähigkeit und Lichtbeständigkeit. Eine Einarbeitung von Weichmachern (gewisse Ester und Wachse) kann das mechanische Verhalten von hartem Kunststoff bis auf einen elastomerähnlichen Zustand verändern.

Füllstoffe

**Verstärkungsstoffe** Als Verstärkungsstoffe werden z.B. Glas-, Kohle- und Aramidfasern verwendet. Sie kommen in verschiedenen Formen, z.B. als Kurz- oder Langfasern, als Gewebe oder Matten, zum Einsatz. Mit gezielt eingelagerten Fasern kann man die Festigkeit und Steifigkeit um ein Vielfaches steigern.

**Treibmittel** Durch Verwendung von Treibmitteln entstehen synthetische Schaumstoffe, deren Dichte sich auf 1/100 des Ausgangsmaterials reduzieren lässt. Schaumstoffe haben besonders gute Dämm- und Isolationseigenschaften und ermöglichen die Herstellung sehr leichter Bauteile.

### **Kunststoffe haben eine niedrige Leitfähigkeit**

**Isolierung** Kunststoff isoliert nicht nur elektrischen Strom, wie bei Stromkabeln, sondern dämmt ebenso gegen Kälte oder Wärme. Beispiele sind der Kühlschrank oder die Kunststofftasse. Ihre Wärmeleitfähigkeit ist etwa 1000-mal geringer als bei Metallen.

**elektrische Leitfähigkeit** Der Grund für die im Vergleich zu Metallen schlechtere Leitung der Kunststoffe ist, dass sie praktisch keine freien Elektronen haben. Diese Elektronen sind in Metallen für den Transport von Wärme und Strom zuständig. Man kann gerade diese Eigenschaft der Kunststoffe durch Zusatzstoffe sehr stark beeinflussen.

**Wärmeleitfähigkeit** Kunststoffe sind somit als Isolationswerkstoff geeignet. Ihre geringe Wärmeleitfähigkeit führt jedoch bei der Verarbeitung zu Problemen, weil zum Beispiel die Schmelzwärme nur sehr langsam ins Werkstoffinnere transportiert wird.

Aufgrund ihrer guten Isolierwirkung können Kunststoffe sich elektrostatisch aufladen. Werden dem Kunststoff leitende Stoffe, wie etwa Metallpulver, vor der Verarbeitung beigemischt, sinkt die Isolationswirkung und damit auch die Neigung zur statischen Aufladung.

### **Kunststoffe sind beständig gegen viele Chemikalien**

**Korrosion** Der Bindungsmechanismus der Atome in Kunststoffen ist sehr verschieden von dem der Metalle. Aus diesem Grund sind Kunststoffe nicht so korrosionsgefährdet wie Metalle. Kunststoffe sind zum Teil sehr beständig gegen Säuren, Basen oder wässrige Salzlösungen. Sie sind jedoch in vielen Fällen durch organische Lösemittel wie Benzin oder Alkohol lösbar.

**CD** Optische Speichermedien wie CD, CD-ROM oder DVD sollten deshalb bei Verschmutzungen nicht mit Terpentin gereinigt werden, weil dieses Mittel den Kunststoff angreifen könnte.

**CD-ROM**

**DVD**

**Lösemittel** Beim Lösen von Kunststoffen sind die Lösemittel am besten, die eine ähnliche chemische Zusammensetzung wie die Kunststoffe haben. Man sagt: „Ähnliches löst Ähnliches“.

### Kunststoffe sind durchlässig

Das Durchdringen eines Stoffs, z.B. eines Gases durch einen anderen Werkstoff, bezeichnet man als Diffusion. Die hohe Durchlässigkeit für Gase infolge größerer Molekülabstände bzw. niedrigerer Dichte ist manchmal nachteilig. Diese Durchlässigkeit ist jedoch bei verschiedenen Kunststoffen unterschiedlich groß. Gerade diese Durchlässigkeit lässt sich aber für manche Anwendungen wie z. B. Membranen für Meerwasserentsalzungsanlagen, bei bestimmten Verpackungsfolien oder etwa einem Organersatz praktisch einsetzen. Um geeignete Kunststoffe für das jeweilige Anwendungsgebiet zu finden, kann man solche Werkstoffkennwerte wie die Dichte, z.B. aus Herstellerangaben bzw. Datenblättern, entnehmen.

Diffusion  
Werkstoffkennwerte

### Kunststoffe sind wiederverwertbar

Kunststoffe lassen sich mithilfe unterschiedlicher Methoden wiederverwenden bzw. -verwerten. Man spricht dann von Recycling. Ist ein wirtschaftliches Wiederverwerten nicht möglich, können verschiedene Kunststoffe auch unter Energiegewinnung verbrannt werden.

Recycling

Bei einigen Stoffen ist die Verbrennung allerdings problematisch und bedarf einer gezielten Verbrennungstechnik sowie einer speziellen Filtertechnik. Insbesondere bei Kunststoffen, die Chlor enthalten (wie PVC) oder Fluor (wie PTFE, bekannter z. B. unter dem Handelsnamen Teflon), müssen die dabei entstehenden Gase entsprechend abgesaugt und gefiltert werden. Mittlerweile ist die Kennzeichnung von Kunststoffprodukten Pflicht, sodass man bei der Wiederverwertung erkennen kann, aus welchem Kunststoff das Produkt hergestellt worden ist. So können die Abfälle nach Sorten getrennt und gezielt recycelt werden.

Verbrennung  
Produktkennzeichnung

### Weitere Eigenschaften von Kunststoffen

Kunststoffe sind teilweise flexibel. Ihre Elastizitätsmoduln sowie ihre Festigkeiten sind breit gefächert, liegen jedoch meist wesentlich niedriger als die entsprechenden Eigenschaften der Metalle. Vielfach ist die hohe Flexibilität ein Vorteil für die Fertigung und Anwendung.

Flexibilität

Eine Reihe von Kunststoffen hat im Vergleich zum mineralischen Glas bessere Schlagzähigkeit bei gleich guten optischen Eigenschaften. Das heißt, Kunststoffe zerbrechen nicht so schnell wie Glas, sind dafür aber auch nicht so kratzfest. Deshalb treten Kunststoffe immer mehr an die Stelle von Glas, zum Beispiel im Bauwesen und Automobilbau oder im Bereich der Optiken.

Schlagzähigkeit

Bei transparenten Kunststoffen bietet neben der besseren Schlagzähigkeit auch das geringere Gewicht einen Vorteil gegenüber mineralischem Glas. So kann im Automobilbau nicht nur Gewicht eingespart, sondern auch der Schwerpunkt des Fahrzeugs gesenkt werden. Brillengläser aus Kunststoff sind angenehmer zu tragen als Brillengläser aus Glas.

Transparenz

## ■ Erfolgskontrolle zur Lektion 1

Nr.	Frage	Antwortauswahl
1.1	Kunststoffe teilt man in die Gruppen Thermoplaste, Elastomere und _____ ein.	Monomere Duroplaste
1.2	Thermoplaste teilt man in die zwei Untergruppen amorphe Thermoplaste und _____ Thermoplaste ein.	duroplastische teilkristalline
1.3	Thermoplaste sind _____ .	schmelzbar nicht schmelzbar
1.4	Duroplaste sind stark vernetzt und deshalb sind sie nicht schmelzbar und _____ .	löslich nicht löslich
1.5	Elastomere sind _____ vernetzt.	engmaschig weitmaschig
1.6	Elastomere sind _____ .	schmelzbar nicht schmelzbar
1.7	Die meisten Kunststoffe sind _____ als Metalle.	leichter schwerer
1.8	Die Verarbeitungstemperatur von Kunststoffen ist _____ als bei Metallen.	höher niedriger
1.9	Die Durchlässigkeit für Gase ist bei verschiedenen Kunststoffen _____ .	gleich unterschiedlich
1.10	Kunststoffe sind sehr _____ Isolatoren für Wärme und Strom.	schlechte gute
1.11	Viele Kunststoffe lassen sich _____ .	wiederverwerten nicht wiederverwerten
1.12	Die Compact Disc (CD) wird aus dem transparenten Kunststoff _____ hergestellt.	Polyethylen (PE) Polycarbonat (PC)