

Christian Hopmann  
Walter Michaeli  
Helmut Greif  
Leo Wolters

# Technologie der Kunststoffe

Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung



4., aktualisierte Auflage

HANSER



**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**

## Die Internet-Plattform für Entscheider!

- **Exklusiv:** Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!
- **Richtungweisend:** Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!
- **Informativ:** News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

***Kunststoffe*.DE**

Immer einen Click voraus!

Christian Hopmann  
Walter Michaeli  
Helmut Greif  
Leo Wolters

# Technologie der Kunststoffe

Lern- und Arbeitsbuch  
für die Aus- und Weiterbildung  
4., aktualisierte Auflage

HANSER

## Die Autoren:

*Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann*, Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen

*Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Walter Michaeli*, ehemals Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen

*Dr. Helmut Greif M. A.*, AGIT GmbH, Aachen

*Dipl.-Ing. Leo Wolters*, Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, 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.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2015 Carl Hanser Verlag München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Seitenlayout und Herstellung: Der *Buchmacher*, Arthur Lenner, München

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44233-7

E-Book-ISBN: 978-3-446-44207-8

# Vorwort

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

Die Basis dieses Buches entstand vor etwas mehr als 40 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 40 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, dem 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 sowie pädagogisch neu überarbeitet. An dieser Stelle sei allen, die an den Überarbeitungen der verschiedenen Auflagen mitgewirkt haben, Dr. Johannes Thim, Hans Kaufmann, Prof. Walter Michaeli sowie Franz-Josef Vossebürger herzlich gedankt.

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



# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Hinweise</b> <b>Arbeiten mit dem Lern- und Arbeitsbuch</b> .....	XIII
<b>Einführung</b> <b>Kunststoff – ein künstlicher Stoff?</b> .....	1
<b>Lektion 1</b> <b>Grundlagen der Kunststoffe</b> .....	5
1.1 Was sind „Kunststoffe“? .....	6
1.2 Woraus macht man Kunststoffe? .....	6
1.3 Wie teilt man Kunststoffe ein? .....	7
1.4 Wie werden Kunststoffe bezeichnet? .....	8
1.5 Welche physikalischen Eigenschaften haben Kunststoffe? .....	9
Erfolgskontrolle zur Lektion 1 .....	13
<b>Lektion 2</b> <b>Rohstoffe und Polymersynthese</b> .....	15
2.1 Rohstoffe für Kunststoffe .....	16
2.2 Monomere und Polymere .....	17
2.3 Synthese des Polyethylens .....	19
Erfolgskontrolle zur Lektion 2 .....	21
<b>Lektion 3</b> <b>Polymersyntheseverfahren</b> .....	23
3.1 Polymerisation .....	24
3.2 Polykondensation .....	26
3.3 Polyaddition .....	29
Erfolgskontrolle zur Lektion 3 .....	31



<b>Lektion 4</b>	<b>Bindungskräfte in Polymeren</b> .....	33
	4.1 Bindungskräfte innerhalb von Molekülen .....	34
	4.2 Zwischenmolekulare Bindungskräfte .....	34
	4.3 Einfluss der Temperatur .....	35
	Erfolgskontrolle zur Lektion 4 .....	37
<b>Lektion 5</b>	<b>Einteilung der Kunststoffe</b> .....	39
	5.1 Bezeichnung der Kunststoffgruppen .....	40
	5.2 Thermoplaste .....	40
	5.3 Vernetzte Kunststoffe (Elastomere und Duroplaste) ....	42
	5.4 Be- und Verarbeitungsverfahren .....	44
	5.5 Formgebungsverfahren thermoplastischer Kunststoffe	45
	Erfolgskontrolle zur Lektion 5 .....	47
<b>Lektion 6</b>	<b>Formänderungsverhalten von Kunststoffen</b> .....	49
	6.1 Verhalten von Thermoplasten .....	50
	6.2 Amorphe Thermoplaste .....	50
	6.3 Teilkristalline Thermoplaste .....	51
	6.4 Verhalten von vernetzten Kunststoffen .....	53
	Erfolgskontrolle zur Lektion 6 .....	55
<b>Lektion 7</b>	<b>Zeitabhängiges Verhalten von Kunststoffen</b> .....	57
	7.1 Verhalten von Kunststoffen unter Last .....	58
	7.2 Einfluss der Zeit auf das mechanische Verhalten .....	59
	7.3 Rückstellverhalten von Kunststoffen .....	60
	7.4 Temperatur- und Zeitabhängigkeit von Kunststoffen ...	61
	Erfolgskontrolle zur Lektion 7 .....	65
<b>Lektion 8</b>	<b>Physikalische Eigenschaften</b> .....	67
	8.1 Dichte .....	68
	8.2 Wärmeleitfähigkeit .....	68
	8.3 Elektrische Leitfähigkeit .....	69
	8.4 Lichtdurchlässigkeit .....	71
	8.5 Materialkennwerte von Kunststoffen .....	72
	Erfolgskontrolle zur Lektion 8 .....	76

<b>Lektion 9</b>	<b>Grundlagen der Rheologie</b> .....	77
	9.1 Rheologie .....	78
	9.2 Fließ- und Viskositätskurven .....	80
	9.3 Fließverhalten von Kunststoffschmelzen .....	81
	9.4 Schmelzeindex .....	83
	Erfolgskontrolle zur Lektion 9 .....	85
<b>Lektion 10</b>	<b>Aufbereitung von Kunststoffen</b> .....	87
	10.1 Überblick .....	88
	10.2 Zusatzstoffe und Dosieren .....	88
	10.3 Mischen .....	90
	10.4 Plastifizieren .....	91
	10.5 Granulieren .....	93
	10.6 Zerkleinern .....	95
	Erfolgskontrolle zur Lektion 10 .....	96
<b>Lektion 11</b>	<b>Extrusion</b> .....	97
	11.1 Grundlagen .....	98
	11.2 Extrusionsanlagen .....	98
	11.3 Coextrusion .....	107
	11.4 Extrusionsblasformen .....	107
	Erfolgskontrolle zur Lektion 11 .....	110
<b>Lektion 12</b>	<b>Spritzgießen</b> .....	111
	12.1 Grundlagen .....	112
	12.2 Spritzgießmaschine .....	113
	12.3 Werkzeug .....	117
	12.4 Verfahrensablauf .....	118
	12.5 Weitere Spritzgießverfahren .....	122
	Erfolgskontrolle zur Lektion 12 .....	123
<b>Lektion 13</b>	<b>Faserverstärkte Kunststoffe (FVK)</b> .....	125
	13.1 Werkstoffe .....	126
	13.2 Verfahrensablauf .....	128
	13.3 Handwerkliche Verarbeitungsverfahren .....	128

	13.4 Maschinelle Verarbeitungsverfahren . . . . .	129
	Erfolgskontrolle zur Lektion 13 . . . . .	134
<b>Lektion 14</b>	<b>Kunststoffschaumstoffe</b> . . . . .	135
	14.1 Beschaffenheit von Schaumstoffen . . . . .	136
	14.2 Herstellung von Schaumstoffen . . . . .	139
	Erfolgskontrolle zur Lektion 14 . . . . .	142
<b>Lektion 15</b>	<b>Thermoformen</b> . . . . .	143
	15.1 Grundlagen . . . . .	144
	15.2 Verfahrensschritte . . . . .	145
	15.3 Technische Anlagen . . . . .	146
	Erfolgskontrolle zur Lektion 15 . . . . .	148
<b>Lektion 16</b>	<b>Schweißen von Kunststoffen</b> . . . . .	149
	16.1 Grundlagen . . . . .	150
	16.2 Verfahrensschritte . . . . .	150
	16.3 Schweißverfahren . . . . .	151
	Erfolgskontrolle zur Lektion 16 . . . . .	158
<b>Lektion 17</b>	<b>Mechanische Bearbeitung von Kunststoffen</b> . . . . .	159
	17.1 Grundlagen . . . . .	160
	17.2 Technische Verfahren . . . . .	160
	Erfolgskontrolle zur Lektion 17 . . . . .	166
<b>Lektion 18</b>	<b>Kleben von Kunststoffen</b> . . . . .	167
	18.1 Grundlagen . . . . .	168
	18.2 Einteilung der Klebstoffe . . . . .	172
	18.3 Die Ausführung der Klebung . . . . .	173
	Erfolgskontrolle zur Lektion 18 . . . . .	175
<b>Lektion 19</b>	<b>Kunststoffabfälle</b> . . . . .	177
	19.1 Kunststoffabfälle und deren Wiederverwendung . . . . .	178
	19.2 Kunststoffe in Produktion und Verarbeitung . . . . .	178
	19.3 Kunststoffprodukte und ihre Lebensdauer . . . . .	180
	19.4 Abfallvermeidung und Abfallverwertung . . . . .	182
	Erfolgskontrolle zur Lektion 19 . . . . .	184

<b>Lektion 20</b>	<b>Recycling von Kunststoffen</b> .....	185
	20.1 Wiederverwertung von Kunststoffabfällen .....	186
	20.2 Werkstoffliches Recycling .....	187
	20.3 Rohstoffliches Recycling .....	190
	20.4 Energetische Verwertung .....	192
	Erfolgskontrolle zur Lektion 20 .....	195
<b>Anhang 21</b>	<b>Qualifizierung in der Kunststoffverarbeitung</b> .....	197
	21.1 Kunststoffausbildung in der Industrie .....	198
	21.2 Kunststoffausbildung im Handwerk .....	204
<b>Anhang 22</b>	<b>Weiterführende Literatur</b> .....	207
<b>Anhang 23</b>	<b>Glossar</b> .....	209
<b>Anhang 24</b>	<b>Lösungen</b> .....	219



# 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, nachdem er die Lektion durchgearbeitet hat, beantworten kann.

## ■ Vorwissen

Die Lektionen müssen nicht in einer bestimmten Reihenfolge bearbeitet werden. Jeder Lektion ist deshalb eine Info zugeordnet, aus dem 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 mit Hilfe 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, Blue-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, Berufsbild. 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