

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

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

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

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, 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

Vorwort	V
Hinweise Arbeiten mit dem Lern- und Arbeitsbuch	XIII
Einführung Kunststoff – ein künstlicher Stoff?	1
Lektion 1 Grundlagen der Kunststoffe	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
Lektion 2 Rohstoffe und Polymersynthese	15
2.1 Rohstoffe für Kunststoffe	16
2.2 Monomere und Polymere	17
2.3 Synthese des Polyethylens	19
Erfolgskontrolle zur Lektion 2	21
Lektion 3 Polymersyntheseverfahren	23
3.1 Polymerisation	24
3.2 Polykondensation	26
3.3 Polyaddition	29
Erfolgskontrolle zur Lektion 3	31

Lektion 4	Bindungskräfte in Polymeren	33
	4.1 Bindungskräfte innerhalb von Molekülen	34
	4.2 Zwischenmolekulare Bindungskräfte	34
	4.3 Einfluss der Temperatur	35
	Erfolgskontrolle zur Lektion 4	37
Lektion 5	Einteilung der Kunststoffe	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
Lektion 6	Formänderungsverhalten von Kunststoffen	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
Lektion 7	Zeitabhängiges Verhalten von Kunststoffen	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
Lektion 8	Physikalische Eigenschaften	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

Lektion 9	Grundlagen der Rheologie	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
Lektion 10	Aufbereitung von Kunststoffen	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
Lektion 11	Extrusion	97
	11.1 Grundlagen	98
	11.2 Extrusionsanlagen	98
	11.3 Coextrusion	107
	11.4 Extrusionsblasformen	107
	Erfolgskontrolle zur Lektion 11	110
Lektion 12	Spritzgießen	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
Lektion 13	Faserverstärkte Kunststoffe (FVK)	125
	13.1 Werkstoffe	126
	13.2 Verfahrensablauf	128
	13.3 Handwerkliche Verarbeitungsverfahren	128

	13.4 Maschinelle Verarbeitungsverfahren	129
	Erfolgskontrolle zur Lektion 13	134
Lektion 14	Kunststoffschaumstoffe	135
	14.1 Beschaffenheit von Schaumstoffen	136
	14.2 Herstellung von Schaumstoffen	139
	Erfolgskontrolle zur Lektion 14	142
Lektion 15	Thermoformen	143
	15.1 Grundlagen	144
	15.2 Verfahrensschritte	145
	15.3 Technische Anlagen	146
	Erfolgskontrolle zur Lektion 15	148
Lektion 16	Schweißen von Kunststoffen	149
	16.1 Grundlagen	150
	16.2 Verfahrensschritte	150
	16.3 Schweißverfahren	151
	Erfolgskontrolle zur Lektion 16	158
Lektion 17	Mechanische Bearbeitung von Kunststoffen	159
	17.1 Grundlagen	160
	17.2 Technische Verfahren	160
	Erfolgskontrolle zur Lektion 17	166
Lektion 18	Kleben von Kunststoffen	167
	18.1 Grundlagen	168
	18.2 Einteilung der Klebstoffe	172
	18.3 Die Ausführung der Klebung	173
	Erfolgskontrolle zur Lektion 18	175
Lektion 19	Kunststoffabfälle	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

Lektion 20	Recycling von Kunststoffen	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
Anhang 21	Qualifizierung in der Kunststoffverarbeitung	197
	21.1 Kunststoffausbildung in der Industrie	198
	21.2 Kunststoffausbildung im Handwerk	204
Anhang 22	Weiterführende Literatur	207
Anhang 23	Glossar	209
Anhang 24	Lösungen	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