Christian Hopmann
Helmut Greif
Leo Wolters

Technologie der Kunststoffe

Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung

5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Hopmann / Greif / Wolters
Technologie der Kunststoffe

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!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Christian Hopmann
Helmut Greif
Leo Wolters

Technologie der Kunststoffe

Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung

5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Die Autoren:

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

Dr. Dipl.-Ing. Helmut Greif M. A., ehemals Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen

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

MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C083411

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.

© 2021 Carl Hanser Verlag München
www.hanser-fachbuch.de
Herstellung: Jörg Strohbach
Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München
Coverrealisierung: Max Kostopoulos
Satz: Eberl & Koesel Studio, Altusried-Krugzell
Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck
Printed in Germany

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

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*).

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 (Fa. agiplan) 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

Vorwort ..... **V**

Die Autoren ..... **VII**

Hinweise **Arbeiten mit dem Lern- und Arbeitsbuch** ..... **XV**

Hinweise **Kurzzeichen und Abkürzungen** ..... **XVII**

Physikalische Größen XVII

Kunststoffe XVIII

Allgemeine Begriffe XX

Akademische Grade XXII

Einführung **Kunststoff – ein künstlicher Stoff?** ..... **XXIII**

Lektion 1 **Grundlagen der Kunststoffe** **1**

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

Lektion 2 **Rohstoffe und Polymersynthese** **9**

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

Lektion 3 Einteilung der Kunststoffe 23
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

Lektion 4 Formänderungsverhalten von Kunststoffen 35
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

Lektion 5 Zeitabhängiges Verhalten von Kunststoffen 43
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

Lektion 6 Physikalische Eigenschaften 53
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

Lektion 7 Grundlagen der Rheologie 65
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

Lektion 8 Kunststoffanwendungen ... 75
8.1 Grundlagen ... 75
8.2 Anforderungskriterien – Werkstoffwahl – Fertigungsverfahren ... 76
8.3 Beispiele von Kunststoffanwendungen ... 80
Erfolgskontrolle zur Lektion 8 ... 86

Lektion 9 Aufbereitung von Kunststoffen ... 87
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

Lektion 10 Extrusion ... 97
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

Lektion 11 Spritzgießen ... 115
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

Lektion 12 Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) ... 131
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

Lektion 13 Kunststoffschaumstoffe ... 141
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

Lektion 14 Thermoformen ... 151
14.1 Grundlagen ... 151
14.2 Verfahrensschritte ... 153
14.3 Technische Anlagen ... 155
14.4 Beispiele und Produkte ... 156
Erfolgskontrolle zur Lektion 14 ... 157

Lektion 15 Additive Fertigungsverfahren ... 159
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

Lektion 16 Schweißen von Kunststoffen ... 171
16.1 Grundlagen ... 171
16.2 Verfahrensschritte ... 172
16.3 Schweißverfahren ... 173
16.4 Beispiele und Produkte ... 179
Erfolgskontrolle zur Lektion 16 ... 181

Lektion 17 Spanende Bearbeitung von Kunststoffen 183
17.1 Grundlagen 183
17.2 Spanende Verfahren 184
Erfolgskontrolle zur Lektion 17 189

Lektion 18 Kleben von Kunststoffen 191
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

Lektion 19 Kunststoffabfälle 201
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

Lektion 20 Recycling von Kunststoffen 211
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

Lektion 21 Qualifizierung in der Kunststoffverarbeitung 225
21.1 Grundlagen 225
21.2 Kunststoffausbildung in der Industrie 226
21.3 Kunststoffausbildung im Handwerk 233

Anhang – Weiterführende Literatur **237**

Anhang – Glossar Technologie der Kunststoffe **241**

Anhang – Lösungen **257**

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
α	Flankenwinkel (griech.: „alpha“)	°
$Å$	Ångström (1 Å= 10^{-10})	m
b	Gangbreite	m
bn	Billion	
D	Schneckendurchmesser	m
d	Kerndurchmesser	m
e	Stegbreite	m
$E\text{-}Modul$	Elastizitätsmodul	MPa
ε	Dehnung (griech.: „epsilon“)	%
F	Kraft (engl.: „force“)	N
$\dot{\gamma}$	Schergeschwindigkeit (griech.: „gamma Punkt“)	1/s
h	Gangtiefe	m
η	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
ϕ	Gangsteigungswinkel (griech.: „phi“)	°
Q	Volumenstrom	m^3/s
Q	Wärmemenge	J
$qm = \dot{m}$	Massenstrom	kg/s

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
R	Widerstand	Ω (Ohm)
s	Schneckenspiel	m
σ	Zugfestigkeit (griech.: „sigma“)	N/m^2 bzw. Pa
t	Gangsteigung	
t	Tonne	1000 kg
T	Temperatur	°C
τ	Schubspannung (griech.: „tau“)	N/m^2
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 (rechnercontrollierte 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?

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

Kunststoffe – Teil unseres Alltags

Kunststoffe …

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.

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

… sind leicht

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_2 ein. Auch der Verbraucher profitiert von dem leichteren Gewicht der Kunststoffflasche beim Transport.

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

… isolieren gegen Strom und können flexibel sein

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

Warum ist ein Kühlschrank von innen mit Kunststoff ausgekleidet?

… dämmen gegen Wärme

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 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_2-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
Natur-Kautschuk

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.

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[1] 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 allbekannten 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

Modellbild Kunststoffe
Nobelpreis

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.

Erdöl

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.

Substitution von klassischen Werkstoffen

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

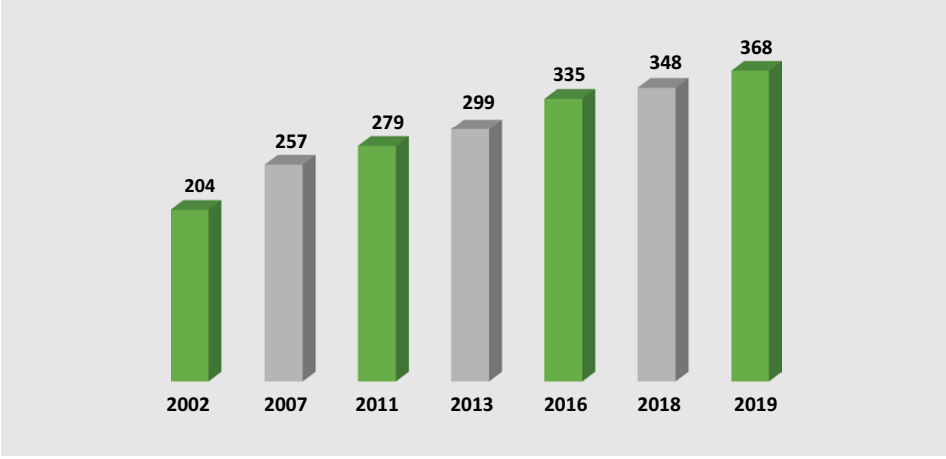

Bild 1 Weltweite Produktion von Kunststoffen in Mio. Tonnen [Quelle: Plastics Europe]

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.

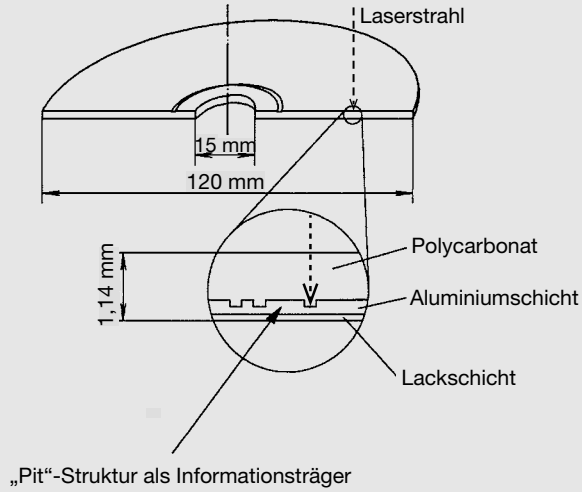

Bild 2 Compact-Disc (CD) und deren Abmessungen

DVD
Blu-Ray (HD-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.

Langspielplatte (LP)
Polyvinylchlorid (PVC)

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.

1 Lektion

Grundlagen der Kunststoffe

Themenkreis	Grundlagen der Kunststoffe
Leitfragen	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?
Inhalt	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“?

Oberbegriff

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.