

# Technologie der Extrusion

Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung

Bearbeitet von  
Von: Helmut Greif, Andreas Limper, und Gordon Fattmann

2. Auflage 2017. Buch. 254 S. Kartoniert  
ISBN 978 3 446 43693 0  
Format (B x L): 19.5 x 24.3 cm  
Gewicht: 565 g

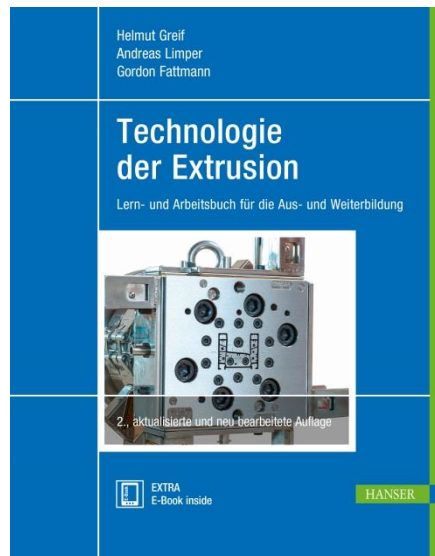
[Weitere Fachgebiete > Technik > Verfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen, Lebensmitteltechnik > Mechanische und Thermische Verfahrenstechnik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# HANSER



## Leseprobe

zu

## Technologie der Extrusion

von Helmut Greif, Andreas Limper, Gordon Fattmann

ISBN (Buch): 978-3-446-43693-0

ISBN (E-Book): 978-3-446-43694-7

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43693-0>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
<b>Die Autoren</b> .....	<b>VII</b>
<b>Kurzzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 Grundlagen der Kunststoffe</b> .....	<b>1</b>
1.1 Kunststoffe und ihre Herstellung .....	1
1.2 Einteilung von Kunststoffen .....	2
1.3 Formänderungsverhalten von Kunststoffen .....	6
1.4 Physikalische Eigenschaften von Kunststoffen .....	11
<b>2 Grundlagen der Rheologie</b> .....	<b>19</b>
2.1 Rheologie .....	19
2.2 Fließverhalten von Kunststoffschmelzen .....	23
2.3 Schmelzindex .....	24
<b>3 Extruder</b> .....	<b>29</b>
3.1 Extrusion und Extruder-Bauarten .....	29
3.2 Der Extruder .....	32
<b>4 Einschneckenextruder</b> .....	<b>39</b>
4.1 Einschneckenextruder .....	40
4.2 Schnecke .....	41
4.3 Zylinder .....	43
4.4 Arbeitsprinzip eines Extruders .....	44

---

<b>5</b>	<b>Doppelschneckenextruder</b> .....	<b>51</b>
5.1	Doppelschneckenextruder und seine Einsatzgebiete .....	52
5.2	Gleichsinnig drehende Doppelschneckenextruder .....	54
5.3	Gegensinnig drehende Doppelschneckenextruder .....	57
	Plastifizierung .....	60
<b>6</b>	<b>Extruder-Sonderbauarten</b> .....	<b>63</b>
6.1	Sonderbauarten .....	63
6.2	Sonstige Einschneckenextruder .....	65
6.3	Mehrwellenextruder .....	69
6.4	Schneckenlose Extruder .....	71
6.5	Vergleich der Extrusionskonzepte .....	72
<b>7</b>	<b>Werkzeuge mit Kreisringpalt</b> .....	<b>77</b>
7.1	Bauprinzipien .....	78
7.2	Einsatzgebiete .....	87
7.3	Coextrusionswerkzeuge .....	89
<b>8</b>	<b>Profilwerkzeuge</b> .....	<b>95</b>
8.1	Profile .....	95
8.2	Das Werkzeug für die Profilextrusion .....	97
8.3	Das Verhalten der Schmelze .....	101
8.4	Kalibrator und Kühlstrecke .....	106
<b>9</b>	<b>Folien- und Plattenwerkzeuge</b> .....	<b>111</b>
9.1	Folien- und Plattenwerkzeuge .....	112
9.2	Bauformen und Dickenregelung .....	115
9.3	Coextrusionswerkzeuge .....	117
<b>10</b>	<b>Steuerung einer Extrusionslinie</b> .....	<b>123</b>
10.1	Prozesssteuerung .....	123
10.2	Prozessdaten des Extruders .....	129
10.3	Prozessdaten der Nachfolgeaggregate .....	130

---

<b>11 Extrusionslinien</b> .....	<b>135</b>
11.1 Komplette Extrusionslinien .....	136
11.2 Rohr- und Profilanlagen .....	137
11.3 Flachfolienanlagen .....	139
11.4 Blasfolienanlagen .....	146
<b>12 Simulation des Extrusionsprozesses</b> .....	<b>155</b>
12.1 Simulation von Prozessen .....	156
12.2 Vorgehensweise bei der Finite Elemente Methode .....	158
12.3 Anwendung der FEM an einem Beispiel .....	162
<b>13 Managementsysteme: Qualität – Umwelt – Arbeitsschutz</b> ..	<b>167</b>
13.1 Qualität .....	168
13.2 Qualitätsorganisation und Qualitätsmanagementsystem .....	171
13.3 Qualitätssicherung .....	176
13.4 Integrierte Managementsysteme .....	179
<b>14 Recycling im Extrusionsbetrieb</b> .....	<b>183</b>
14.1 Wiederverwertung von Kunststoffen .....	184
14.2 Recycling von Produktionsabfällen .....	187
14.3 Recycling von Kunststoffabfällen aus Handel und Haushalten .....	189
<b>15 Das Extrusionsunternehmen</b> .....	<b>197</b>
15.1 Aufbau und Organisation eines Extrusionsunternehmens .....	197
15.2 Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit Extrusionsanlagen .....	204
<b>16 Berufe in der Kunststoffverarbeitenden Industrie (KVI)</b> ....	<b>211</b>
<b>17 Weiterführende Literatur</b> .....	<b>219</b>
<b>18 Glossar</b> .....	<b>223</b>
<b>19 Lösungen zu den Erfolgskontrollen</b> .....	<b>235</b>

# Vorwort

## **Einführung**

Das Extrusionsverfahren gehört zu den bedeutendsten Produktionsverfahren im Bereich der Kunststoffverarbeitung. Das vorliegende Lernbuch und Arbeitsbuch führt in dieses Verarbeitungsverfahren ein. Dabei liegt sein inhaltlicher Schwerpunkt auf den kontinuierlichen Extrusionsprozessen. Das Blasformen als diskontinuierliches Verfahren wird somit nicht thematisiert. Es bietet darüber hinaus Wissen in übersichtlicher Form und integriert das Gelernte in einen sinnvollen Gesamtzusammenhang von Arbeit und Technik.

## **Lektionen und Leitfragen**

Das Buch „Technologie der Extrusion“ ist in Lerneinheiten unterteilt, die als Lektionen bezeichnet werden. Jede Lektion umfasst einen geschlossenen Themenkreis. Die einzelnen Lektionen sind so angelegt, dass sie vom Lerner in einer Lernsequenz – also in einem Lernschritt – bearbeitet werden können. Die Leitfragen zu Beginn einer jeden Lektion sollen dem Lerner helfen, mit bestimmten Fragen an den Lernstoff heranzugehen. Nachdem er die Lektion durchgearbeitet hat, soll er diese Leitfragen beantworten können.

## **Vorwissen**

Die Lektionen müssen nicht in einer bestimmten Reihenfolge bearbeitet werden, jedoch setzen einige Lektionen ein bestimmtes Vorwissen voraus, damit das Verständnis verbessert wird. Jede Lektion ist deshalb mit einem Hinweis versehen aus dem hervorgeht, welche anderen Lektionen oder Inhalte zum Verstehen der vorliegenden Lektion wichtig sind.

## **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 unterstrichenen 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 ist, sollte der entsprechende Sachverhalt ein weiteres Mal durchgearbeitet werden.

## **Kernaussagen**

Kernaussagen lenken die Aufmerksamkeit des Lesers auf besonders wichtige Aussagen zur Technologie der Extrusion. So werden für den Lerner grundlegende Einsichten, Definitionen oder Zusammenhänge gesondert in Kernaussagen hervorgehoben. Die Kernaussagen sind grau hinterlegt.

## **Beispiele (Fensterprofil, Kunststofftüte)**

Am Beispiel von zwei Kunststoffprodukten soll das Verständnis für die vielfältigen Anforderungen an Kunststoffprodukte und die sich daraus ergebenden Konsequenzen an die Materialauswahl sowie eine mögliche Wiederverwertung erörtert werden. Dies steigert das Denken in Zusammenhängen. Ausgewählt wurden zwei Kunststoffe, die für bestimmte Produktklassen und Anforderungen stehen: Fensterprofile, die als technologisch anspruchsvolle Produkte langlebig sein müssen und Kunststofftüten (Müllsäcke, Einkaufstüten etc.), die preiswert, kurzlebig und oft nach ihrem Gebrauch sehr verschmutzt sind. Diese Beispiele finden sich in vielen Lektionen im Buch wieder.

## **Anhang**

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. Es kann auch als eine Art Kurz-Lexikon verwendet werden. Die Informationen zum Berufsbild des „Verfahrensmechanikers Kunststoff und Kautschuk“ sowie der neue Beruf des „Werkstoffprüfers Fachrichtung Kunststofftechnik“ bieten die Möglichkeit, sich genauer über die Aufgaben dieses industriellen Kunststoffberufes, insbesondere der Fachrichtung „Extrusion“, zu informieren. Eine Einführung in das Thema Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit rundet das Gesamthema „Extrusionsbetrieb“ ab.

## **Dank**

Das vorliegende Buch ist eine Gemeinschaftsleistung. Die Autoren möchten sich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben – insbesondere bei den Firmen, die reichlich aktuelles Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben.

Viel Spaß beim Lernen und Arbeiten mit diesem Buch.

*Helmut M. Greif*

*Andreas Limper*

*Gordon Fattmann*

Anregungen für Verbesserungen nehmen wir gerne entgegen ([helmut@greif-esser.de](mailto:helmut@greif-esser.de)).

# Die Autoren

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

Dr. Greif arbeitete nach seinem Studium des Maschinenbaus sowie der Soziologie/Politologie/Erziehungswissenschaft in Aachen als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen, u. a. als pädagogischer Leiter des Demonstrationszentrums für Faserverbundkunststoffe. Seine Themen waren Technikentwicklung und Qualifikationsentwicklung sowie Arbeitsorganisation und Berufsbildung. Nach vielen Stationen in der Industrie und Wirtschaft als Fabrikplaner und Unternehmensberater (SMART-Fabrik), als Leiter der Dr. Reinold Hagen Stiftung, die ein Bildungs- und Kunststoffzentrum in Bonn betreibt, war er Leiter des HPI (Heinz-Piest-Institut) an der Universität Hannover. Zuletzt bis zu seinem Abschied Mitte 2016 war er Geschäftsführer der Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer (AGIT). Er war Mitglied in vielen Jurys zur Innovation sowie Berufsbildung.

## **Prof. Dr.-Ing. Andreas Limper**

Prof. Limper studierte Maschinenbau Fachrichtung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen (IKV). Nach seinem Studium promovierte er am IKV und leitete anschließend die Abteilung „Extrusion“ des IKV. Er war F&E Leiter der Fa. Battenfeld Extrusionstechnik und Hauptabteilungsleiter Technik bei Werner & Pfleiderer Gummi-technik in Freudenberg, bevor er an der Universität Paderborn eine Professur zum Thema „Kunststoff-Maschinenbau“ annahm. Seit 2004 ist er Geschäftsführer der HF Maschinenbau GmbH in Freudenberg.

## **Dr.-Ing. Gordon Fattmann**

Dr. Fattmann arbeitete nach seinem Studium des Maschinenbaus (Fachrichtung Kunststofftechnik) an der Universität Paderborn am Institut für Kunststofftechnik bei Prof. Dr.-Ing. Andreas Limper. Zurzeit arbeitet er als Entwicklungsleiter bei der Gerflor Mipolam GmbH in Troisdorf, die zur französischen Gerflor Gruppe gehört, einem der weltweit führenden Hersteller von Kunststoffbodenbelägen.



# 1

## Lektion

# Grundlagen der Kunststoffe



### Leitfragen:

- Wie werden Kunststoffe definiert?
- Woraus werden Kunststoffe hergestellt?
- Wie werden Kunststoffe eingeteilt?
- Wie verhalten sich Kunststoffe unter Temperatureinfluss?
- Welche Eigenschaften haben Kunststoffe?
- Wo werden Kunststoffe eingesetzt?

### Themenkreis:

Grundlagen der Kunststoffe

### Inhalt:

- 1.1 Kunststoffe und ihre Herstellung
  - 1.2 Einteilung von Kunststoffen
  - 1.3 Formänderungsverhalten von Kunststoffen
  - 1.4 Physikalische Eigenschaften von Kunststoffen
- Erfolgskontrolle Lektion 1

## ■ 1.1 Kunststoffe und ihre Herstellung

Der Name „Kunststoffe“ ist ein Oberbegriff für eine gesamte Werkstoffgruppe, die eine große Anzahl von Materialien beinhaltet. Die verschiedenen Kunststofftypen können sich in Aufbau, Eigenschaft und Zusammensetzung unterscheiden.

Kunststoffe haben eine Gemeinsamkeit. Sie bestehen aus langen Molekülketten, den sogenannten Makro- oder Fadenmolekülen (griech.: makro = groß, poly = viel).

Makromolekül

Diese sehr langen Molekülketten sind miteinander verknäult oder verbunden. Einzelne Moleküle bestehen oft aus mehr als 10 000 Einzelbausteinen. In diesen Fadenmolekülen sind die einzelnen Bausteine wie Perlen auf einer Kette hintereinander angeordnet.

Monomer, Polymer

Die Einzelbausteine heißen Monomere vom griechischen „mono“ (einzeln) und „meros“ (Teil). Da die Makromoleküle aus vielen aneinander gereihten Monomeren bestehen, werden sie auch Polymere genannt (griech.: poly – viel).

Die Struktur eines Kunststoffs kann man sich vom Aufbau wie ein Wollknäuel vorstellen. Die Makromoleküle sind die einzelnen Fäden, die man schwer aus dem Knäuel herausziehen kann, da sie sich gegenseitig Halt geben.



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 geformt worden.

Rohstoffe

Wie bereits erwähnt, bestehen die Polymere aus vielen Einzelbausteinen, den Monomeren. Aus den Monomeren können oft durch Variation der Herstellverfahren oder der Mischungen verschiedene Polymere erzeugt werden.

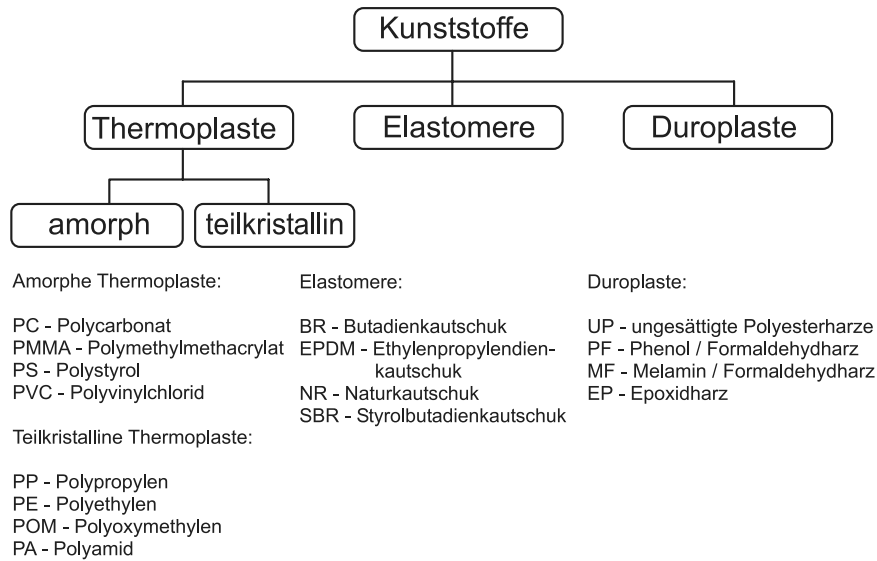
Die Monomere werden hauptsächlich aus Erdöl und Erdgas gewonnen. Da für die Herstellung allein der Kohlenstoff von Bedeutung ist, könnten Monomere auch aus Holz, Kohle oder dem  $\text{CO}_2$  der Luft erzeugt werden. Diese Stoffe werden jedoch nicht eingesetzt, da die Herstellung aus Gas und Öl preiswerter ist.

Raffinerieprodukte

Einige Monomere waren vor einiger Zeit noch Abfallprodukte bei der Herstellung von Benzin und Heizöl. Der hohe Verbrauch an Kunststoffen heutzutage erfordert jedoch eine gezielte Herstellung von Monomeren in Raffinerien. Vom gesamten Erdölverbrauch der Bundesrepublik Deutschland hat die Kunststoffindustrie jedoch nur einen Anteil von etwa 4 %.

## ■ 1.2 Einteilung von Kunststoffen

Kunststoffe werden in drei große Werkstoffgruppen eingeteilt, die sich in ihrer Struktur und ihren Bindungskräften unterscheiden. Bild 1.1 zeigt eine Übersicht mit typischen Beispielen.

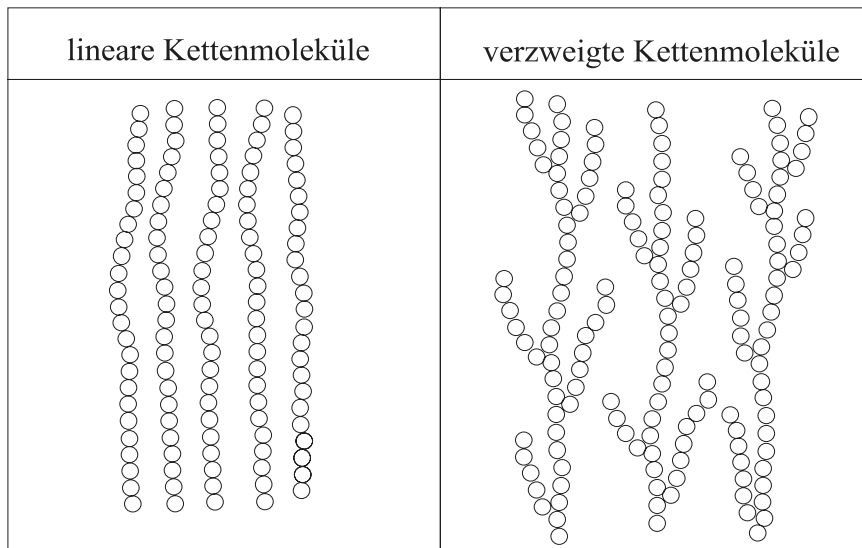


**Bild 1.1** Einteilung der Kunststoffe in drei Gruppen mit typischen Beispielen

### Thermoplaste

Die Makromoleküle, die aus verzweigten bzw. nicht verzweigten Ketten (lineare Ketten) bestehen und die nur durch zwischenmolekulare Kräfte zusammengehalten werden, heißen Thermoplaste (Bild 1.2). Je nach Anzahl und Art der Verzweigungen können die Bindungskräfte unterschiedlich stark sein.

Thermoplaste



**Bild 1.2** Schematische Darstellung von linearen und verzweigten Kettenmolekülen

## Schlagzähigkeit

Eine Reihe von Kunststoffen hat im Vergleich zum mineralischen Glas bessere Schlagzähigkeit bei gleichen optischen Eigenschaften. Das bedeutet, dass Kunststoffe nicht so schnell zerbrechen wie Glas, aber dafür nicht so kratzfest sind. Daher treten Kunststoffe immer mehr an die Stelle von Glas, z. B. im Bauwesen, im Automobilbau oder bei Brillen.

Tabelle 1.1 zeigt eine Übersicht von Kennwerten typischer Extrusionsmaterialien.

**Tabelle 1.1** Kennwerte typischer Extrusionsmaterialien

Bezeichnung	Kurzzeichen	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Verarbeitungstemperatur (°C)	Struktur	T <sub>g</sub> (°C)	Einsatztemperaturbereich (°C)	Typische Anwendungen (Extrusion)
Polyethylen hoher Dichte	PE-HD	0,94 – 0,97	190 – 230	tk	/	bis 100	Rohre
Polyethylen niedriger Dichte	PE-LD	0,91 – 0,94	220 – 250	tk	-30	bis 80	Folien (z. B. Tragetaschen)
Polypropylen	PP	0,90	230 – 260	tk	-5	bis 130	Folien, Rohre (z. B. Tragetaschen)
Polyvinylchlorid	PVC	1,38 – 1,55	170 – 200	a/tk	85	-50 bis 60	Profile
Polyvinylchlorid (chloriert)	PVC-C	1,51 – 1,64		a/tk	k. A.	bis 80	Profile (z. B. Fenster)
Polyamid	PA	1,14	260 – 280	tk	80	bis 100	Folien
Polystyrol	PS	1,05	180 – 220	a	95	bis 80	Platten, Folien
Polycarbonat	PC	1,20	240 – 280	a	150	-100 bis 135	Platten, Folien
Polymethylmethacrylat	PMMA	1,17	200 – 230	a	110	-40 bis 90	Platten
Polyethylen-terephthalat	PET	1,40	255 – 285	tk	100	-20 bis 115	Folie, Flaschen (Blasformen)
Acrylnitril-butadienstyrol	ABS	1,05	220 – 260	a	80 – 110	bis 95	Platten

tk: teilkristallin, a: amorph

## Spezialkunststoffe

Zudem gibt es weitere Kunststoffe mit vielfältigen Eigenschaften für die unterschiedlichsten Einsatzbereiche. Sie ersetzen oder ergänzen immer mehr die klassischen Werkstoffe wie Stahl, Aluminium, Holz und Glas.

## Biopolymere

Zunehmend kommen sogenannte Biopolymere zur Anwendung. Dies sind die Polymere, die nicht auf Erdöl basieren sondern auf Basis von Cellulose, Stärke, Lignin, Chitosan sowie pflanzlichen und tierischen Proteinen. Heute werden zudem Biopolymere aus Produkten der Agrar- und Forstwirtschaft mit neu entwickelten Methoden gewonnen.

## Anwendungsbereiche

Sie werden mit der Zielrichtung entwickelt, in vielen Anwendungen Erdöl als Grundstoff durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen und damit neue Lösungsansätze zur Rohstoffsicherung der chemischen Industrie, für die Sicherung der Welternährung sowie zur Reduzierung schädlicher Emissionen zu erschließen. Die Anwendung von Biopolymeren ist in zahlreichen Wirtschaftszweigen bereits etabliert, beispielsweise in den Industriezweigen Lebensmittelherstellung, Pharma-

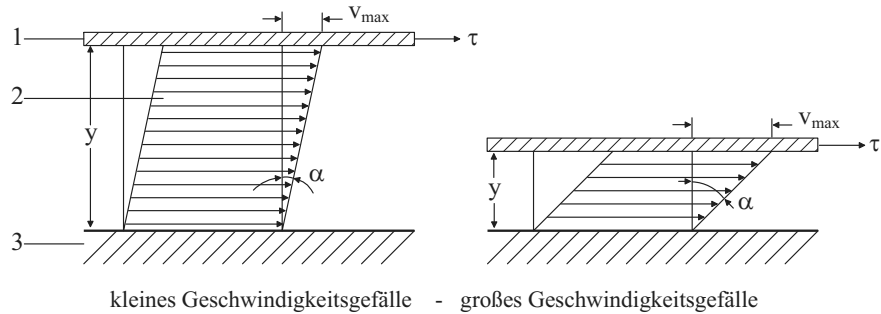
Nach Ablauf dieser Einsatzzeit als „Fenster“ stellt sich die Frage, in welcher Form das Profil des Fensters entsorgt werden kann. Das Verbrennen des PVC ist wegen der entstehenden giftigen Gase problematisch und ein Lagern auf Deponien ist aufgrund des oft verwendeten Bleistabilisators unerwünscht. Die umweltverträglichste Lösung ist auch hier das Recycling. Moderne Aufbereitungswerke für Altfenster aus PVC-Kunststoff sind heute in der Lage, aus diesen Altfensterrahmen einen Rohstoff herzustellen, der kaum Qualitätsunterschiede zur PVC-Neuware aufweist.

gute Recyclierbarkeit

### Erfolgskontrolle Lektion 1

Nr.	Frage	Antwortauswahl
1	Thermoplaste unterteilt man in amorphe und _____ Thermoplaste.	duroplastische teilkristalline
2	Amorphe Thermoplaste sind bei Raumtemperatur _____.	glasklar trübe
3	Bei Elastomeren sind die Moleküle _____ vernetzt.	stark schwach
4	Thermoplastische Kunststoffe lassen sich _____ aufschmelzen.	einmal wiederholt nicht
5	Kunststoffe teilt man in die Gruppen Thermoplaste, Elastomere und _____ ein.	Polymere Duroplaste Monomere
6	Duroplaste haben eine _____ Vernetzung.	engmaschige weitmaschige
7	Die meisten Kunststoffe sind _____ als Metalle.	leichter schwerer
8	Kunststoffe sind _____ Isolatoren für Wärme und Strom.	schlechte gute
9	Viele Kunststoffe lassen sich _____ -verwerten.	wieder nicht wieder
10	Die Verarbeitungstemperatur von Kunststoffen ist _____ als bei Metallen.	niedriger höher
11	Kunststoff-Fensterprofile werden in der Regel aus dem Werkstoff _____ hergestellt.	PVC PE ABS
12	Einkaufstüten aus Kunststoff (Plastiktüten) werden in der Regel aus dem Werkstoff PP und _____ hergestellt.	PVC PE ABS

sprechen Winkeländerungen. Eine aufgebrauchte Schubspannung auf eine Flüssigkeit bewirkt eine Verformung eines separiert betrachteten Fluidelements vom Rechteck zum Parallelogramm (Bild 2.1). Der rechte Winkel verändert sich um den Winkel  $\alpha$ , der den Grad der Verformung beschreibt.



**Bild 2.1** Schematische Darstellung des Scherfließens mit einer bewegten Platte (Zwei-Platten-Modell)  
 1: bewegte Platte  
 2: geschertes Fluid  
 3: Grundplatte (stationär)

### Schubspannung

Schubspannung

Wie man in Bild 2.1 sieht, wird die Platte mit einer tangentialen Kraft nach rechts bewegt und bringt die Flüssigkeit damit zum Fließen. Der Quotient aus Kraft  $F$  und Plattenfläche  $A$  wird als Schubspannung bezeichnet. Die Schubspannung wird mit dem griechischen Buchstaben  $\tau$  (sprich: „tau“) abgekürzt und hat die Einheit Pascal (Pa).

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{N \text{ (Newton)}}{m^2} = Pa \text{ (Pascal)} \quad (2.1)$$

$\tau$ : Schubspannung  
 $F$ : Kraft  
 $A$ : Fläche

Schergeschwindigkeit

Die Schubspannung bewirkt das Fließen einer Flüssigkeit. Betrachtet man in Bild 2.1 das Zwei-Platten-Modell, so ist ein Geschwindigkeitsabfall der einzelnen Fluidschichten zu erkennen. Die Geschwindigkeit fällt von einem maximalen Wert direkt an der bewegten Platte bis auf Null an der unteren Grenzfläche ab. Dieser Geschwindigkeitsabfall wird Schergeschwindigkeit genannt und mit  $\dot{\gamma}$  (sprich: „gamma Punkt“) abgekürzt. Die Schergeschwindigkeit definiert die Differenz der Fließgeschwindigkeit zwischen zwei Fluidschichten und hat die Einheit  $1/s$  bzw.  $s^{-1}$ .

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} = \frac{\frac{m}{s}}{m} = \frac{1}{s} = s^{-1} \quad (2.2)$$

$\dot{\gamma}$ : Schergeschwindigkeit  
 $v$ : Geschwindigkeit  
 $y$ : Richtung (y-Achse)

Im Fall der Kunststoffverarbeitung wird die Größe der Schergeschwindigkeit vor allem durch den Volumenstrom und die Geometrie des Fließkanals bestimmt. Die Schergeschwindigkeit steigt, wenn man den Volumenstrom anhebt oder den Fließkanal verkleinert.

Volumenstrom

### Viskosität

Eine weitere wichtige Eigenschaft zur Charakterisierung von Fließeigenschaften ist die Viskosität. Die Viskosität beschreibt den Fließwiderstand eines Fluids, während es geschert wird bzw. wenn es als Folge einer Schubspannung eine bestimmte Fließgeschwindigkeit annimmt.

Viskosität

Betrachten wir unser Zwei-Platten-Modell (Bild 2.1), so ist die Viskosität als Quotient aus Schubspannung  $\tau$  und Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  definiert. Die Viskosität wird mit dem griechischen Buchstaben  $\eta$  (sprich: „eta“) abgekürzt und hat die Einheit Pas (Pascal-Sekunden).

Zwei-Platten-Modell

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{Pa \text{ (Pascal)}}{s^{-1}} = Pas \text{ (Pascalsekunden)} \quad (2.3)$$

$\eta$ : Viskosität  
 $\tau$ : Schubspannung  
 $\dot{\gamma}$ : Schergeschwindigkeit

In Tabelle 2.1 sind einige typische Viskositätswerte von verschiedenen bekannten Materialien aus dem täglichen Leben angegeben.

Viskositätswerte

**Tabelle 2.1** Typische Viskositätswerte für einige Stoffe bei 20 °C

Material	Viskosität in Pas
Luft	0,00001
Wasser	0,001
Olivenöl	0,1
Glyzerin	1
Traubensaft	2 bis 5
Kaffeesahne	10
Honig	10000
<b>Kunststoffschmelze (bei Verarbeitungstemperatur)</b>	<b>100 bis 1 000 000</b>
Pech	10 <sup>9</sup>
Glas	10 <sup>21</sup>

Zum Beispiel fließt Wasser bei Raumtemperatur leichter als Honig und hat daher eine niedrigere Viskosität als Honig. Umgangssprachlich sagt man auch, dass Honig zähflüssiger ist als Wasser.

Für die Verarbeitung von Materialien im flüssigen Zustand, wie es beim Extrusionsverfahren oder etwa auch beim Spritzgießverfahren der Fall ist, spielt dieses Materialverhalten der Kunststoffe eine wesentliche Rolle.



Viskosität ist der Widerstand einer Flüssigkeit gegen einen erzwungenen, irreversiblen Ortswechsel ihrer Volumenelemente.

### Fließ- und Viskositätskurven

Fließkurve

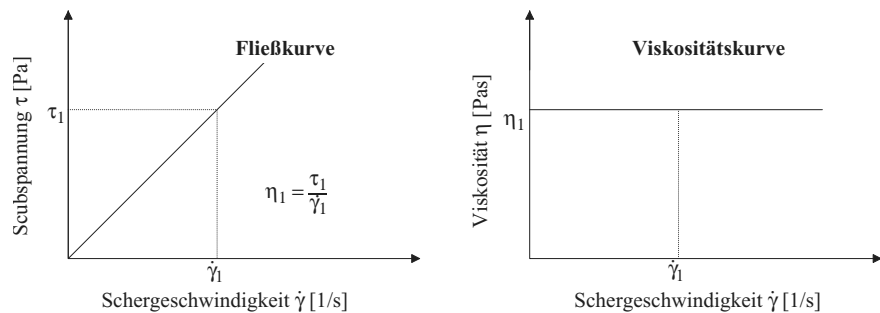
Das Fließverhalten von Flüssigkeiten kann mit Hilfe von Diagrammen dargestellt werden. Mit der so genannten Fließkurve wird der Zusammenhang zwischen Schubspannung und Schergeschwindigkeit beschrieben. Hier werden die Werte der Schergeschwindigkeit auf der x-Achse und die der Schubspannung auf der y-Achse in Diagrammform aufgetragen.

Viskositätskurve

Eine weitere übliche Darstellung zur Charakterisierung des Fließverhaltens ist die Viskositätskurve. Die Viskositätskurve stellt die Abhängigkeit der Viskosität von der Schergeschwindigkeit dar. Bei Viskositätsmessungen werden in der Regel immer zuerst Fließkurven erstellt, die dann zu Viskositätskurven umgerechnet werden.

newtonsches Fluid

In Bild 2.2 sind entsprechende Fließ- und Viskositätskurven für eine newtonsche Flüssigkeit dargestellt. Als klassisches Beispiel für ein newtonsches Fluid gilt Wasser.



**Bild 2.2** Fließ- und Viskositätskurve einer newtonschen Flüssigkeit

newtonsche Flüssigkeit

Eine newtonsche Flüssigkeit weist eine Proportionalität zwischen Schubspannung und Schergeschwindigkeit auf. In der Fließkurve sind alle Quotienten der Wertepaare  $\tau$  und  $\dot{\gamma}$  konstant. Das heißt, dass die Viskosität  $\eta$  einer newtonschen Flüssigkeit unabhängig von der Schergeschwindigkeit ist. Alle Fluide, die diese Eigenschaft haben, werden „newtonsch“ genannt. Newtonsche Flüssigkeiten sind z. B. Wasser, Mineralöle oder Bitumen.



Schmelzezusammenführung

Die eingesetzte Technologie wird als Coextrusion bezeichnet und erfordert eine spezielle Werkzeugtechnik, auch wenn die Schmelzeverteiler jeder einzelnen Schicht den bisher vorgestellten Werkzeugkonzepten entsprechen. Gemeinsam haben alle eingesetzten Werkzeuge, dass mehrere Polymerschmelzen durch ein Werkzeug extrudiert werden. Ort und Art der Schmelzezusammenführung sind unterschiedlich. Drei Varianten werden unterschieden:

- Vollständige Schmelzetrennung bis zum Düsenaustritt und Zusammenführung außerhalb des Werkzeugs
- Teilweise Trennung der Schmelze und Vereinigung der Schmelzeströme kurz vor dem Werkzeugaustritt
- Zusammenführung der Schmelzen vor dem Werkzeug mit der so genannten Adapter- oder Feedblock-Technik und gemeinsames Durchfließen der Werkzeuge



Bei der Coextrusion werden Schmelzeströme unterschiedlicher Kunststofftypen in einem Coextrusionswerkzeug zu einem „vielschichtigen“ Halbzeug zusammengeführt. Dieses Verfahren wird angewendet, um mit dem Produkt Anforderungen zu erfüllen, die mit einem Material allein nicht erreicht werden oder um Rezyklat als günstiges Füllmaterial „unsichtbar“ im Produktinneren einzuarbeiten.

Einsatzgebiete

Die 2-Schicht- und 3-Schicht-Coextrusion wird heute für mehrschichtige Rohre, Kabelisierungen, Verpackungsfolien und das Extrusionsblasformen eingesetzt. Zum Beispiel werden bei der Coextrusion von Schlauchfolien die Wendelverteilergrundkörper ineinander gesteckt (Bild 7.14). Der Grundkörper III (oben) dient als Hülse für den Grundkörper II (darunter) und der Grundkörper II als Hülse für den Grundkörper I (unten).



**Bild 7.14** Grundkörper eines Wendelverteilers für die 3-Schicht-Coextrusion (Quelle: Fa. ETA Kunststofftechnologie)

1: Extrusionsrichtung, 2: Düsenzone, 3: Grundkörper III, 4: Grundkörper II, 5: Grundkörper I (Innendorn)

Um dieses Prinzip zu veranschaulichen zeigt Bild 7.15 den Aufbau eines 7-Schicht-Wendelverteilers. Das Bild illustriert außerdem, wie sich die Grundkörpergeometrie von der inneren zur äußeren Schicht hin ändert.

Schmelzeverteilung



**Bild 7.15** Grundkörper eines Wendelverteilers für die 7-Schicht-Coextrusion

(Quelle: Fa. ETA Kunststofftechnologie)

1: Schicht A, 2: Schicht B, 3: Schicht C, 4: Schicht D, 5: Schicht E, 6: Schicht F, 7: Schicht G

Diese Änderungen ergeben sich nicht nur aus der baulichen Ausführung sondern auch aus verfahrenstechnischen Gesichtspunkten. Entscheidend für die Gestaltung einer jeden Wendelverteilerschicht sind das zu verarbeitende Material, der Durchsatz und die Verarbeitungstemperatur. Gerade bei Mehrfachwerkzeugen muss jede Schmelzeschicht sehr gleichmäßig über dem Umfang verteilt sein, bevor die Schmelzezusammenführung stattfindet.

Ein Rohrextrusions-Wendelverteiler mit 5-Schichten ist in Bild 7.16 dargestellt. Bei der Extrusion von Mehrschicht-Rohren findet vielfach die zuvor dargestellte Konstruktion Anwendung, so dass zur Realisierung von fünf Schichten eine axiale und vier radiale Extruderanschlüsse notwendig sind.

Rohr-Coextrusion



### Leitfragen

Welche Kunststoffberufe gibt es im Extrusionsunternehmen?

Welche Aufgaben und Tätigkeiten hat der Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik?

Welche Aufgaben und Tätigkeiten hat der Werkstoffprüfer mit Fachrichtung Kunststofftechnik?

In welchen Arbeitsbereichen werden diese Berufe eingesetzt?

### Inhalt

Qualifikationsanforderungen

Berufe in der Kunststoffverarbeitenden Industrie (KVI)

Die Nachfrage nach qualifizierten Fachkräften ist in der Kunststoffverarbeitenden Industrie (KVI), einer stetig wachsenden Zukunftsbranche mit über 300.000 Beschäftigten, ca. 60 Mrd. € Umsatz und mehr als 2800 Betrieben im Jahre 2015 weiterhin ungebrochen. Die Lösung der Qualifikationsfrage in der kunststoffverarbeitenden Wirtschaft, sowohl im Handwerk als auch in der Kunststoffverarbeitenden Industrie (KVI) und damit auch in Extrusionsbetrieben, ist eine wesentliche Voraussetzung auch in der KVI und damit für die Herstellung hochwertiger und konkurrenzfähiger Produkte und Dienstleistungen, insbesondere in einem Hochlohnland, wie es Deutschland ist. In diesem Abschnitt werden deshalb die Kunststoffberufe und Kunststoffqualifikationen und andere Aspekte der Qualifikationsentwicklung in der KVI vorgestellt.

Da Extrusionsbetriebe meist industriell geprägt sind, wird die handwerkliche Vermittlung von Kunststoffwissen nicht behandelt. Betont werden sollte aber der Zusammenhang der Gesamtqualifikation innerhalb einer Wertschöpfungskette, denn beispielsweise die fachgerechte Herstellung von Kunststofffenstern und der Einbau von Fenstern aus Kunststoff als Dienstleistung vor Ort durch spezialisierte Handwerksbetriebe, trägt zur Qualität des Produktes „Fenster“ entscheidend bei, das ja 40 Jahre seine Funktion beibehalten soll.

KVI Qualifikation  
Handwerk

Extrusionsbetriebe

### Qualifikationsanforderungen

Schwerpunkte	Berufe und Berufsqualifikationen ergeben sich aus den fachlichen und überfachlichen Anforderungen, die in der KVI vorliegen und die einem ständigen Wandel unterzogen sind.
Urformverfahren für Kunststoffe	Die wichtigsten Urformverfahren, die hierbei heute angewendet werden, sind für Kunststoffe: Extrudieren, Kalandrieren, Beschichten flexibler Trägerbahnen, Spritzgießen, Pressen, Herstellen von Hohlkörpern nach verschiedenen Verfahren, Verstärken von Reaktionsharzen und Schäumen.
Formverfahren für Kunststoffe	Für Kautschuke sind die wichtigsten Formverfahren: Mischen (Aufbereiten), Extrudieren, Kalandrieren, Pressen, Streichen (Beschichten), Spritzgießen und Konfektionieren (z. B. bei der Reifenherstellung). Die so hergestellten Produkte müssen in der Regel hohen Qualitätsanforderungen genügen.
Extrusion	Extrusionsprodukte werden auf spanlosem Wege und in der Regel in einem verketteten Verfahrensprozess hergestellt. Ihre Oberfläche soll nach Möglichkeit keiner weiteren Nachbearbeitung bedürfen. Erst der reibungslose Ablauf dieses Prozesses garantiert eine hohe Produktqualität.
Umweltschutz	Wirtschaftlichkeit und vor allem der Umweltschutz erfordern darüber hinaus rohstoff- und energiesparendes Arbeiten. Hierin liegt eine zunehmend wichtiger werdende Aufgabe für die Extrusionsbetriebe. Besonders das Wiederverwerten (Recycling) von Verschnitten bzw. Abfällen ist hier von Bedeutung.
Qualität	Die Formgebung der Kunststoffe erfolgt immer unter bestimmten Druck-, Temperatur- und Zeitwerten, die exakt eingehalten werden müssen, soll der Fertigungsprozess reproduzierbar ablaufen und die Qualität der Erzeugnisse garantiert sein.
Maschinen	Im Extrusionsbetrieb befinden sich moderne, technisch hochentwickelte Maschinen und Anlagen, die mit mechanischen, elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Steuerungs- und Regelungsmechanismen ausgestattet sind. Sie sind sehr teuer - also kapitalintensiv - und werden meist im Schichtbetrieb rund um die Uhr eingesetzt.
Werkzeug	Entscheidend für die Produktqualität ist schlussendlich das formgebenden Werkzeug, das meist aus hochwertigen Stahllegierungen gefertigt wird. Das Fachpersonal muss die im Produktionsprozess an das Werkzeug gestellten Anforderungen kennen und richtig einstufen sowie entsprechend berücksichtigen können.
Kundenanforderungen	Hinzu kommt die Kenntnis der genauen Anforderungen, die der „Kunde“ an das Extrusionsprodukt sowie die Zusatzleistungen, die im Zusammenhang mit dem Produkt stehen, hat.

### Berufe in der Kunststoffverarbeitenden Industrie (KVI)

In der kunststoffverarbeitenden Industrie haben sich inzwischen zwei zentrale Berufe herausgebildet:

- *Verfahrensmechaniker/in für Kunststoff- und Kautschuktechnik*
- *Werkstoffprüfer/in Fachrichtung Kunststofftechnik*

<b>Amorph</b>	Ohne (regelmäßige) Gestalt, glasartig, nicht kristallin, ein Zustand höchster Unordnung oder strukturlos.
<b>Aggregatzustand</b>	Kunststoffe haben nur zwei Aggregatzustände: fest und flüssig. Kunststoffe zersetzen sich, bevor sie den gasförmigen Zustand erreichen.
<b>Anisotropie</b>	Richtungsabhängige Struktur (der kleinsten Teilchen), deren Folge richtungsabhängige Eigenschaften sind.
<b>Antriebseinheit</b>	Die Antriebseinheit eines Extruders besteht aus Motor, Kupplung und Getriebe. Die Motoren sind stufenlos regelbare Elektromotoren, deren Größe vom Schneckendurchmesser abhängt.
<b>Automatisierungsgrad</b>	Bemisst die Umstellung einer Fertigungsstätte auf vollautomatische Produktion.
<b>Aufbereitung</b>	Unter Aufbereitung versteht man alle Arbeitsgänge, denen ein Rohstoff unterworfen wird, bevor die Formmasse der eigentlichen Verarbeitung zur Herstellung von Formteilen zugeführt wird.
<b>Axial</b>	In Achsenrichtung.
<b>Bindenaht</b>	Entsteht beim Zusammenfließen von Teilströmen der Schmelze. Sie kann eine Schwachstelle (Festigkeitsreduzierung) im Halbzeug bilden.
<b>Biopolymere</b>	Dies sind die Polymere, die nicht auf Erdöl (Rohöl) aufbauen, sondern auf der Basis von Cellulose, Stärke, etc. sowie pflanzlichen und tierischen Proteinen erzeugt werden.
<b>CAMPUS</b>	Bezeichnet im Umfeld der Kunststoffverarbeitung eine computergestützte Material-Datenbank für die Eigenschaften von Kunststoffen. Das Akronym steht für Computer Aided Material Preselection by Uniform Standards. CAMPUS gilt weltweit als führend in Bezug auf den Grad der Standardisierung und somit der Vergleichbarkeit von Kennwerten und Kennwertdiagrammen. Die Datenbank stützt sich dazu auf die ISO 10350 für Einpunkt-Kennwerte (z. B. der Dichte) und die ISO 11403 für Diagramme (z. B. Spannungs-Dehnungs-Diagramm).
<b>Chemische Bindung</b>	Verbindung zwischen Atomen und Molekülen aufgrund des Bestrebens einen energetisch günstigen Zustand zu erreichen.