



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Kunststoffberufe

Cornelia Fritsche
Hartmut Fritsche
Werner Gradl

Jörg Kolbinger
Karl-Heinz Küspert
Ulrike Rudolph

Albrecht Schmidt
Werner Schröck
Frank Schwarze

Tabellenbuch Kunststofftechnik

3. Auflage

Europa-Nr.: 15020

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Autorinnen und Autoren:

Cornelia Fritsche	Dipl.-Ing.-Päd., Studienrätin	Massen
Hartmut Fritsche	Dipl.-Ing. (FH)	Massen
Werner Gradl	Ing. BEd.	Wartberg
Jörg Kolbinger	Dipl.-Ing. (FH), Studiendirektor	Windelsbach
Karl-Heinz Küspert	Fachoberlehrer	Hof
Ulrike Rudolph	Dipl.-Ing.	Sonneberg
Albrecht Schmidt	Fachoberlehrer	Selbitz
Werner Schröck	Dipl.-Ing. (FH), Studienrat	Pirmasens
Frank Schwarze	Dipl.-Ing.-Päd., Studienrat	Sonneberg

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises: Hartmut Fritsche

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Maßgebend für das **Anwenden der Normen** sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE-VERLAG GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin und der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

3. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke dieser Auflage sind im Unterricht nebeneinander einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-1184-4

Alle Rechte vorbehalten. Das Tabellenbuch ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag genehmigt werden.

©2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: MediaCreativ, G. Kuhl, 40724 Hilden

Umschlagfoto: „ASB-Formteil-Füllstudie“: Werner Gradl, A-4224 Wartberg

Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

Vorwort

Das **Tabellenbuch Kunststofftechnik** ist ein Teil des Fachbuchangebots des Verlags Europa-Lehrmittel im Bereich Kunststofftechnik. Dieses Nachschlagewerk ist für alle kunststofforientierten Berufsausbildungen, Studiengänge, Umschulungen, Lehrgänge, Abschlussprüfungen, sowie Fort- und Weiterbildungen geeignet.

Die inhaltliche Struktur des Tabellenbuchs ist angelehnt an die Europa-Lehrmittel-Bücher „Fachkunde Kunststofftechnik“, „Prüfungsvorbereitung aktuell – Kunststofftechnik“ und „Arbeitsblätter Kunststofftechnik“.

Das Tabellenbuch Kunststofftechnik ist wie in den Auflagen zuvor gegliedert:

Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen

Technische Kommunikation

Werkstofftechnik

Maschinenelemente

Automatisierungstechnik

Fertigungstechnik

Verfahrenstechnik

Kunststofffenster und Apparatebau

Die vorliegende **3. Auflage** wurde mit den aktuellsten Normen, neuen Erkenntnissen, anhand zahlreicher Rückmeldungen und Verbesserungsvorschläge umfangreich überarbeitet und ergänzt. Der Seitenumfang erhöhte sich dadurch um 18 Seiten. Vokabeln (Deutsch – Englisch), ein Glossar und mehrere kunststoffspezifische Werkstofftabellen und Verarbeitungsparameter sind dort enthalten.

Bitte beachten Sie den folgenden **Hinweis** zum Thema „Richtwerte“. Auf Grund der komplexen Zusammensetzung der Kunststoffe werden ausschließlich Richtwerte in diesem Tabellenbuch verwendet.

Bei der praktischen Anwendung und Verarbeitung von Werkstoffen, insbesondere von Kunststoffen, haben die spezifischen Stoffangaben (Material- bzw. Sicherheitsdatenblätter) und Fachhinweise der Hersteller stets Vorrang.



Entsprechende Stellen bzw. Seiten sind mit diesem Symbol gekennzeichnet.

Der Verlag und das Autorenteam danken für die zahlreichen Rückmeldungen und Verbesserungsvorschläge.

Ihre Anmerkungen und Fragen nehmen wir gerne unter folgender E-Mail-Adresse entgegen: lektorat@europa-lehrmittel.de

1. Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen

N

2. Technische Kommunikation

T

3. Werkstofftechnik

W

4. Maschinenelemente

M

5. Automatisierungstechnik

A

6. Fertigungstechnik

F

7. Verfahrenstechnik

V

8. Kunststofffenster und Apparatebau

K

Inhaltsverzeichnis

1 Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen

1.1 Technische Mathematik

Allgemeine Grundlagen	10
Potenzen, Wurzeln und Logarithmen	12
Gleichungen und Formeln	13
Prozentrechnung	14
Dreisatz und Verhältnisgleichung	15
Teilung von Längen, Bogenlänge und gestreckte Länge	16
Berechnungen im rechtwinkligen Dreieck	17
Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck	18
Winkelfunktionen im schiefwinkligen Dreieck	19
Flächenberechnungen	20
Volumenberechnungen	23
Masse von geometrischen Körpern ..	26
Linien- und Flächenschwerpunkte ..	27

1.2 Technische Physik

Physikalische Größen und Einheiten ..	28
Kräfte	31
Reibung	33
Drehmoment und Hebel	34
Mechanische Arbeit und Energie	35
Mechanische Leistung und Wirkungsgrad	36
Arten von Bewegungen	37
Geschwindigkeiten an Maschinen ..	38
Druckarten und Auftriebskraft	39
Druck, Volumenstrom und Durchflussgeschwindigkeit	40

Belastungsfälle und Beanspruchungsarten	41
Beanspruchung auf Zug bei Metallen und Kunststoffen	43
E-Modul, Beanspruchung auf Druck und Flächenpressung	44
Beanspruchung auf Knickung, Abscherung und Scherschneiden ..	45
Beanspruchung auf Biegung und Torsion	46
Flächen- und Widerstandsmomente ..	47
Temperaturskalen, thermische Längen- und Volumenausdehnung ..	48
Wärmemenge, Wärmeübertragung und Wärmestrom	49
Elektrotechnische Grundlagen	50

1.3 Technische Chemie

Atom – Modelle und Begriffe	57
Periodensystem der Elemente	58
Molekül – Bindungen und Modelle ..	60
Chemische Formeln, Reaktionsgleichungen und pH-Wert ..	61
Chemikalien in der Kunststofftechnik ..	62
Organische Kohlenwasserstoffe	63
Rohstoffe für Kunststoffe	65
Grundlagen der Kunststoffchemie ..	66
Polymerisation	67
Polykondensation und Polyaddition ..	68
Bindungskräfte	69
Rohstoffliches Werkstoffrecycling auf chemischer Basis	70

2 Technische Kommunikation

2.1 Darstellung durch Zeichnungen mit Maßeintragungen

Zeichnungstechnische Grundlagen ..	72
Beschriftung von Zeichnungen	73
Normzahlen und Maßstäbe	74
Positionsnummern und Stückliste ..	75
Linien	76
Grundregeln der Zeichnungsdarstellung	77
Projektionsmethoden	78
Ansichten	80
Schnittdarstellung in Zeichnungen ..	82
Maßeintragungen in Zeichnungen ..	85
Bemaßungsregeln	87
Bemaßungsarten	88
Teilungen	89
Maßeintragungen mit speziellen Symbolen	90
Maßeintragungen an Fasen, Senkungen und Toleranzangaben ..	91

Vereinfachung von Zeichnungen	92
-------------------------------------	----

2.2 Diagramme und Abwicklungen

Kartesisches Koordinatensystem	93
Polarkoordinaten und Flächendiagramme	94
Bestimmung der wahren Größe von Linien und Flächen	95
Schnitte an Grundkörpern und Abwicklungen	96
Abwicklungen von Falt- und Übergangskörpern	97

2.3 Maschinen- und Werkstückelemente

Zahnräder	98
Wälzlager	99
Dichtungen	100
Sicherungsringe und Nuten für Sicherungsringe, Federn, Keil- wellen und Kerbverzahnungen ..	101

Inhaltsverzeichnis

Werkstückkanten und Butzen an Drehteilen	102
Gewinde und Schraubenverbindungen.....	103
Gewindeausläufe und Gewindefreistiche	104
Zentrierbohrungen und Rändel	105
Freistiche	106

2.4 Fügedarstellungen, Oberflächen- und Wärmebehandlungsangaben

Symbole für Schweiß- und Lötinähte	107
Sinnbilder für Schweißen und Löten	108
Darstellung von Schweiß- und Lötverbindungen	109
Bemaßungsbeispiele von Schweiß- und Lötverbindungen	110
Gestaltabweichungen und Rauheitskenngrößen	111

Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit	112
Rauheitswerte von Werkstückoberflächen.....	113
Werkstückbeschichtungen	114
Härteangaben wärmebehandelter Werkstücke	115

2.5 Toleranzen und Passungen

Allgemeine Grundlagen des ISO- Systems	116
ISO-Systeme für Grenzmaße und Passungen	117
ISO-Passungen	118
ISO-Passungen	120
Passungsempfehlungen	124
Allgemeintoleranzen	125
Toleranzen für Kunststoff-Formteile	126
Geometrische Tolerierung	129

3 Werkstofftechnik

3.1 Eigenschaften der Werkstoffe

Werkstoffe und deren Stoffwerte ..	132
Thermoplaste im Überblick	134
Thermo- und Duroplaste im Überblick	135
Elastomere im Überblick.....	136
Thermoplastische Elastomere – TPE im Überblick	137
Biokunststoffe im Überblick.....	138
Chemische Beständigkeit der Kunststoffe	139
Beständigkeit der Kunststoffe bei Umwelteinflüssen	141

3.2 Metalle

Einteilung der Eisenwerkstoffe	142
Normbezeichnung der Stähle.....	143
Baustähle.....	146
Werkzeugstähle	151
Handelsformen von Stählen.....	152
Wärmebehandlung von Stählen ..	161
Eisen-Gusswerkstoffe	162
Nichteisenmetalle	164
Leichtmetall-Legierungen.....	165
Schwermetall-Legierungen	167

3.3 Kunststoffe

Einteilung der Kunststoffe	168
Vergleich der Zustandsdiagramme ..	169
Kunststofferkennung.....	170
Zustandsdiagramme der Thermoplaste	172
Thermoplaste	174
Zustandsdiagramm der Duroplaste	191
Duroplaste	192
Zustandsdiagramm der Elastomere	197
Elastomere.....	198
Zustandsdiagramm der thermoplastischen Elastomere – TPE	209
Thermoplastische Elastomere	210
Halbzeuge aus Thermoplasten....	213

3.4 Additive, Verbundwerkstoffe und Verstärkungstoffe

Additive	215
Verbundwerkstoffe.....	217
Verstärkungstoffe.....	218

3.5 Werkstoffprüfung

Prüfungen an metallischen Werkstoffen.....	219
Prüfungen an Kunststoffen.....	224

4 Maschinenelemente

4.1 Gewinde

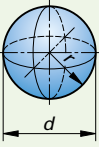
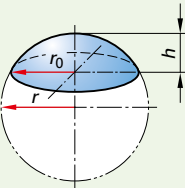
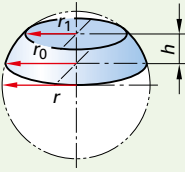
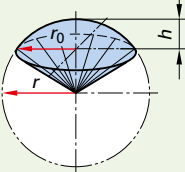
Übersicht der gängigen Gewindearten.....	244
Metrisches ISO-Gewinde und Feingewinde	245

Trapezgewinde und Sägewinde	246
Whitworth-Gewinde und Rohrgewinde.....	247
Gewindetoleranzen	248



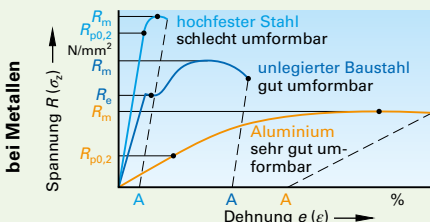
Volumenberechnungen

Geometrische Grundkörper

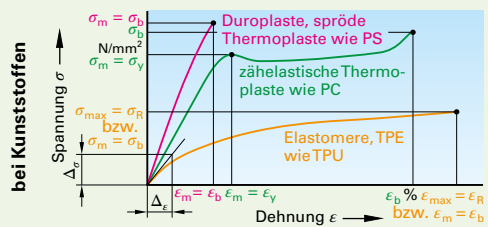
Kugel 	Volumen $V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$ Oberfläche $A_O = \pi \cdot d^2$ <i>V</i> Volumen <i>d</i> Kugeldurchmesser <i>A_O</i> Oberfläche	Beispiel: <i>d</i> = 15 mm; <i>V</i> = ?; <i>A_O</i> = ? $V = \frac{\pi \cdot 15^3 \text{ mm}^3}{6} = 1767,15 \text{ mm}^3$ $A_O = \pi \cdot d^2 = \pi \cdot 225 \text{ mm}^2$ $A_O = 706,86 \text{ mm}^2$
Kugelabschnitt, Kugelkappe 	Volumen $V = \frac{\pi \cdot h}{6} \cdot (3 \cdot r_0^2 + h^2)$ Oberfläche $A_O = \pi \cdot (2 \cdot r_0^2 + h^2)$ Mantelfläche $A_M = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$ Radius Kappengrundfläche $r_0 = \sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)}$ <i>V</i> Volumen <i>r</i> Kugelradius <i>r₀</i> Radius der Kappengrundfläche <i>h</i> Kappenhöhe <i>A_M</i> Mantelfläche <i>A_O</i> Oberfläche	Beispiel: <i>r</i> = 7,5 mm; <i>r₀</i> = 6,633 mm; <i>h</i> = 4 mm; <i>V</i> = ?; <i>A_M</i> = ? $V = \frac{\pi \cdot 4 \text{ mm}}{6} \cdot (3 \cdot 6,633^2 + 4^2) \text{ mm}^2$ $V = 309,97 \text{ mm}^3$ $A_M = 2 \cdot \pi \cdot 7,5 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}$ $A_M = 188,496 \text{ mm}^2$
Kugelschicht, Kugelscheibe, Kugelzone 	Volumen $V = \frac{\pi}{6} \cdot h \cdot (3 \cdot r_0^2 + 3 \cdot r_1^2 + h^2)$ Oberfläche $A_O = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h + \pi \cdot (r_0^2 + r_1^2)$ Mantelfläche $A_M = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$ <i>V</i> Volumen <i>r</i> Kugelradius <i>r₀</i> Radius der Grundfläche <i>r₁</i> Radius der Deckfläche <i>h</i> Schichthöhe <i>A_M</i> Mantelfläche <i>A_O</i> Oberfläche	Beispiel: <i>r</i> = 7,433 mm; <i>r₀</i> = 7 mm; <i>r₁</i> = 5 mm; <i>h</i> = 3 mm <i>V</i> = ?; <i>A_M</i> = ? $V = \frac{\pi}{6} \cdot 3 \text{ mm} \cdot (147 + 75 + 9) \text{ mm}^2$ $V = 362,854 \text{ mm}^3$ $A_M = 2 \cdot \pi \cdot 7,433 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}$ $A_M = 140,109 \text{ mm}^2$
Kugelausschnitt 	Volumen $V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$ Oberfläche $A_O = \pi \cdot r \cdot (2 \cdot h + r_0)$ Radius der Kappengrundfläche $r_0 = \sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)}$ <i>V</i> Volumen <i>r</i> Kugelradius <i>r₀</i> Radius der Kappengrundfläche <i>h</i> Kappenhöhe <i>A_M</i> Mantelfläche <i>A_O</i> Oberfläche	Beispiel: <i>r</i> = 7,5 mm; <i>h</i> = 3 mm; <i>V</i> = ?; <i>r₀</i> = ? $V = \frac{2 \cdot \pi}{3} \cdot 7,5^2 \text{ mm}^2 \cdot 3 \text{ mm}$ $V = 353,43 \text{ mm}^3$ $r_0 = \sqrt{(3 \text{ mm} \cdot (2 \cdot 7,5 - 3)) \text{ mm}}$ $r_0 = 6 \text{ mm}$

Beanspruchung auf Zug bei Metallen und Kunststoffen

Spannungsdehnungsdiagramme und Bezeichnungen aus den Zugversuchen weiteres auf den Seiten 222 und 224

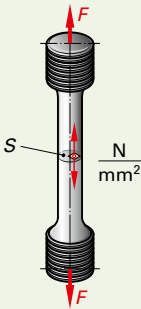


R_m Zugfestigkeit in N/mm² bzw. MPa
 R_e Streckgrenze in N/mm² bzw. MPa
 $R_{p0,2}$ 0,2 % - Dehngrenze in N/mm² bzw. MPa
 A Bruchdehnung in %
 R , auch σ_z mechanische Spannung, Zugspannung in N/mm bzw. MPa
 e , auch ε Dehnung in %



σ_m Zugfestigkeit in N/mm² bzw. MPa
 σ_y Streckspannung in N/mm² bzw. MPa
 σ_b Bruchspannung in N/mm² bzw. MPa
 ε_m Dehnung bei Zugfestigkeit in %
 ε_y Dehnung bei Streckspannung in %
 ε_b Bruchdehnung in %
bei Elastomeren: σ_R Reißfestigkeit, σ_{max} Zugfestigkeit

Beanspruchung auf Zug bei Metallen



Zugspannung R in N/mm² bzw. MPa

$$R^{(2)} = \frac{F}{S}$$

F Zugkraft in N
 S Querschnittsfläche in mm²

zulässige Zugspannung σ_{zzul}

$$\sigma_{zzul} = \frac{R_e}{v}$$

$$\sigma_{zzul} = \frac{R_{p0,2}}{v}$$

R_e Streckgrenze in N/mm²
 R_m Zugfestigkeit in N/mm²
 v Sicherheitszahl gegen Fließen
 $R_{p0,2}$ 0,2 %-Dehngrenze

Beispiel 1:

Zugstab $d = 10$ mm
 Werkstoff E 360; $F = 10$ kN; $R = ?$

$$R = \frac{F}{S} = \frac{10000 \text{ N}}{78,54 \text{ mm}^2}$$

$$R = 127,32 \text{ N/mm}^2$$

Beispiel 2:

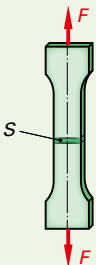
Zugstab $d = 10$ mm;
 $\sigma_{zzul} = 127,32$ N/mm²
 Werkstoff E 360; $v = ?$

$$v = \frac{R_e}{\sigma_{zzul}} = \frac{360 \text{ N/mm}^2}{127,32 \text{ N/mm}^2} = 2,83$$

Maximalwerte für R_e , R_m in N/mm² bzw. MPa – weitere Werte [Seite 146 ff.](#)

Werkstoff	R_e	R_m	Werkstoff	R_e	R_m	Werkstoff	R_e	R_m
S 235 JR	235	510	61 SiCr7	1400	1850	S 960 QL	960	1150
E 360	360	830	Cu Zn 28	420	460	Al 99,5	70	135

Beanspruchung auf Zug bei Kunststoffen



Zugspannung σ_z in N/mm² bzw. MPa

$$\sigma_z = \frac{F}{S}$$

F Zugkraft in N
 S Querschnittsfläche in mm²

Maximalkraft F_M in N

$$F_M = \sigma_m \cdot S$$

σ_m Zugfestigkeit in N/mm²

Beispiel 1:

Zugstab aus PA 6 mit
 $S = 4$ mm x 2 mm; $F = 500$ N; $\sigma_z = ?$

$$\sigma_z = \frac{F}{S} = \frac{500 \text{ N}}{8 \text{ mm}^2} = 62,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Beispiel 2:

Welche Maximalkraft hält der Zugstab aus Beispiel 1 aus?

$$F_M = \sigma_y \cdot S = 80 \text{ N/mm}^2 \cdot 8 \text{ mm}^2$$

$$F_M = 640 \text{ N}$$

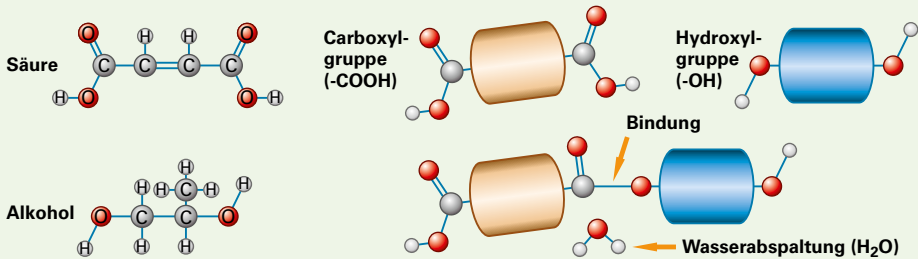
Maximalwerte für σ_m , σ_y in N/mm² bzw. MPa – weitere Werte [Seite 134 f.](#)

Werkstoff	σ_m	σ_y	Werkstoff	σ_m	σ_y	Werkstoff	σ_m	σ_y
ABS	40	55	PE-HD	31	22	PA 6	70	80
POM	72	70	PEI	85	105	PC	70	66

¹⁾ y = yield stress, Spannung an der Elastizitätsgrenze ²⁾ auch σ_z , nähere Erläuterung in der DIN EN ISO 6892

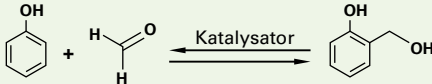
Polykondensation und Polyaddition

Polykondensation (Verknüpfung unter Abspaltung eines Nebenproduktes)

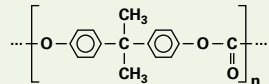


Beispiele für Polykondensate

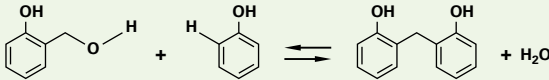
Stufe 1: Phenolformaldehyd



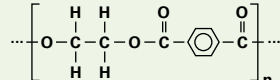
Polycarbonat PC



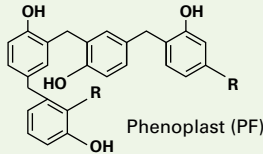
Stufe 2: Abspaltung von Wasser



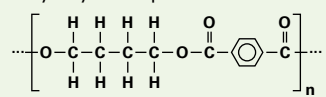
Polyethylenterephthalat PET



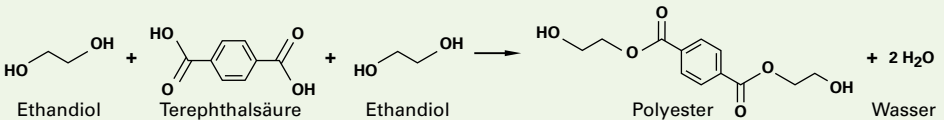
Stufe 3: Vernetzung zu PF



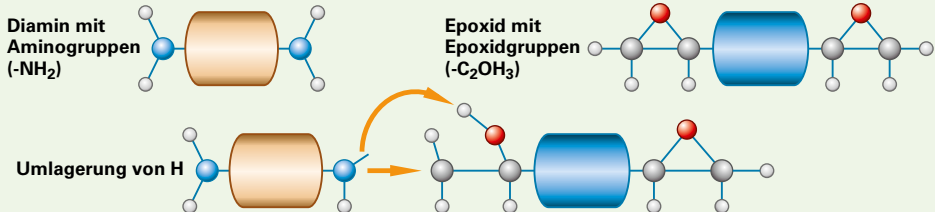
Polybutylenterephthalat PBT



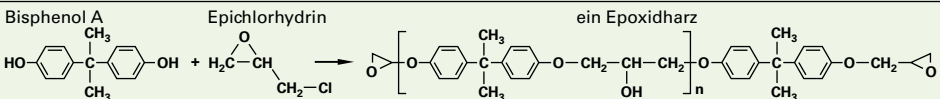
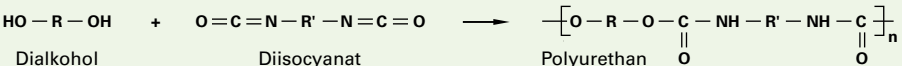
Copolykondensation: Verknüpfen unterschiedlicher Monomere – Beispiel: Polyester



Polyaddition (Verknüpfung unter Umlagerung eines H-Atoms)



Beispiele für Polyaddukte



**Werkstückkanten und Butzen an Drehteilen****Werkstückkanten**

vgl. DIN ISO 1375:2020-01

Kante	Werkstückkante liegt bezüglich der ideal-geometrischen Form		
	innerhalb	außerhalb	im Bereich
Außenkante 	Abtragung 	Grat 	scharfkantig
Innenkante 	Abtragung 	Übergang 	scharfkantig
Maß a (mm)	- 0,1; - 0,3; - 0,5; - 1,0; - 2,5	+ 0,1; + 0,3; + 0,5; + 1,0; + 2,5	- 0,05; - 0,02; + 0,02; + 0,05

Sinnbild zur Kennzeichnung von Werkstückkanten	Sinnbild-element	Bedeutung für		Grat- und Abtragsrichtung		
		Außenkante	Innenkante		Außenkante	Innenkante
	+	Grat zugelassen, Abtragung nicht zugelassen	Übergang zugelassen, Abtragung nicht zugelassen	Festlegung zugelassen für	Grat	Abtragung
	-	Abtragung gefordert, Grat nicht zugelassen	Abtragung gefordert, Übergang nicht zugelassen	Beispiel		
	$\pm^1$	Grat oder Übergang zugelassen	Abtragung oder Übergang zugelassen	Bedeutung		
¹⁾ nur mit einer Maßangabe zulässig						

Kennzeichnung von Werkstückkanten

vgl. DIN ISO 1375:2020-01

Sammelangaben	Beispiele
Sammelangaben gelten für alle Kanten, für die kein eigener Kantenzustand eingetragen ist. Kanten, für die die Sammelangabe nicht gilt, müssen in der Zeichnung gekennzeichnet werden. Hinter der Sammelangabe werden die Ausnahmen in Klammern gesetzt oder durch das Grundsinnbild angedeutet.	Außenkante ohne Grat, die zugelassene Abtragung liegt zwischen 0 mm und 0,3 mm Außenkante mit zugelassenerm Grat von 0 mm bis 0,3 mm (Gratrichtung bestimmt) Innenkante mit zugelassener Abtragung zwischen 0,1 mm und 0,5 mm (Abtragsrichtung unbestimmt) Innenkante mit zugelassener Abtragung zwischen 0 mm und 0,02 mm oder zugelassenerm Übergang bis 0,02 mm (scharfkantig)
Sammelangaben, die nur für Außen- bzw. Innenkanten gelten, werden durch entsprechende Sinnbilder eingetragen.	

Butzen an Drehteilen

vgl. DIN 6785:2014-06

Butzenmaße		Butzenmaße	Größtdurchmesser D des Fertigteils in mm							
			bis 3	über 3 bis 5	über 5 bis 8	über 8 bis 12	über 12 bis 18	über 18 bis 26	über 26 bis 40	über 40 bis 60
Beispiel 		d_{2max} in mm	0,3	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,5
Zeichnungseintrag 		l_{max} in mm	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	1,2	2,0	3,0



Gewindeausläufe und Gewindefreistiche

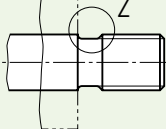
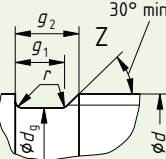
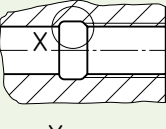
Darstellung von Gewindeausläufen für metrische ISO-Gewinde vgl. DIN 76-1:2016-08

Außengewinde	Steigung ¹⁾ P	ISO-Regel- gewinde d	Gewindeauslauf ²⁾			Steigung ¹⁾ P	ISO-Regel- gewinde d	Gewindeauslauf ²⁾		
			x_1 max	a_1 max	e_1			x_1 max	a_1 max	e_1
	0,2	–	0,5	0,6	1,3	1,25	M8	3,2	3,75	6,2
	0,25	M1	0,6	0,75	1,5	1,5	M10	3,8	4,5	7,3
	0,3	–	0,75	0,9	1,8	1,75	M12	4,3	5,25	8,3
	0,35	M1,6	0,9	1,05	2,1	2	M16	5	6	9,3
	0,4	M2	1	1,2	2,3	2,5	M20	6,3	7,5	11,2
	0,45	M2,5	1,1	1,35	2,6	3	M24	7,5	9	13,1
	0,5	M3	1,25	1,5	2,8	3,5	M30	9	10,5	15,2
	0,6	–	1,5	1,8	3,4	4	M36	10	12	16,8
	0,7	M4	1,75	2,1	3,8	4,5	M42	11	13,5	18,4
	0,75	–	1,9	2,25	4	5	M48	12,5	15	20,8
	0,8	M5	2	2,4	4,2	5,5	M56	14	16,5	22,4
	1	M6	2,5	3	5,1	6	M64	15	18	24

¹⁾ Für Feingewinde sind Maße des Gewindeauslaufs nach der Steigung P zu wählen.

²⁾ Regelfall; gilt immer dann, wenn keine anderen Angaben gemacht sind.
 $x_2 \approx 0,5 \cdot x_1$; $a_2 \approx 0,67 \cdot a_1$; $e_2 \approx 0,625 \cdot e_1$
Ist ein langer Gewindeauslauf erforderlich, so gilt:
 $a_3 \approx 1,3 \cdot a_1$; $e_3 \approx 1,6 \cdot e_1$

Darstellung von Gewindefreistichen für metrische ISO-Gewinde vgl. DIN 76-1:2016-08

Außengewinde Form A und Form B	Steigung 1)	ISO-Regel- gewinde d	r	Außengewinde				Innengewinde					
				d _g h13	Form A ²⁾		Form B ³⁾		d _g H13	Form C ²⁾		Form D ³⁾	
					g ₁ min.	g ₂ max.	g ₁ min.	g ₂ max.		g ₀ min.	g ₂ max.	g ₁ min.	g ₂ max.
	0,2 0,25 0,3 0,35	– M1 – M1,6	0,1 0,12 0,16 0,16	d – 0,3 d – 0,4 d – 0,5 d – 0,6	0,45 0,55 0,6 0,7	0,7 0,9 1,05 1,2	0,25 0,25 0,3 0,4	0,5 0,6 0,75 0,9	d + 0,1 d + 0,1 d + 0,1 d + 0,2	0,8 1 1,2 1,4	1,2 1,4 1,6 1,9	0,5 0,6 0,75 0,9	0,9 1 1,25 1,4
	0,4 0,45 0,5 0,6	M2 M2,5 M3 –	0,2 0,2 0,2 0,4	d – 0,7 d – 0,7 d – 0,8 d – 1	0,8 1 1,1 1,2	1,4 1,6 1,75 2,1	0,5 0,5 0,5 0,6	1 1,1 1,25 1,5	d + 0,2 d + 0,2 d + 0,3 d + 0,3	1,6 1,8 2 2,4	2,2 2,4 2,7 3,3	1 1,1 1,25 1,5	1,6 1,7 2 2,4
	0,7 0,75 0,8 1	M4 – M5 M6	0,4 0,4 0,4 0,6	d – 1,1 d – 1,2 d – 1,3 d – 1,6	1,5 1,6 1,7 2,1	2,45 2,6 2,8 3,5	0,8 0,9 0,9 1,1	1,75 1,9 2 2,5	d + 0,3 d + 0,3 d + 0,3 d + 0,5	2,8 3 3,2 4	3,8 4 4,2 5,2	1,75 1,9 2 2,5	2,75 2,9 3 3,7
	1,25 1,5 1,75 2	M8 M10 M12 M16	0,6 0,8 1 1	d – 2 d – 2,3 d – 2,6 d – 3	2,7 3,2 3,9 4,5	4,4 5,2 6,1 7	1,5 1,8 2,1 2,5	3,2 3,8 4,3 5	d + 0,5 d + 0,5 d + 0,5 d + 0,5	5 6 7 8	6,7 7,8 9,1 10,3	3,2 3,8 4,3 5	4,9 5,6 6,4 7,3
	2,5 3 3,5 4	M20 M24 M30 M36	1,2 1,6 1,6 2	d – 3,6 d – 4,4 d – 5 d – 5,7	5,6 6,7 7,7 9	8,7 10,5 12 14	3,2 3,7 4,7 5	6,3 7,5 9 10	d + 0,5 d + 0,5 d + 0,5 d + 0,5	10 12 14 16	13 15,2 17,7 20	6,3 7,5 9 10	9,3 10,7 12,7 14
	4,5 5 5,5 6	M42 M48 M56 M64	2 2,5 3,2 3,2	d – 6,4 d – 7 d – 7,7 d – 8,3	10,5 11,5 12,5 14	16 17,5 19 21	5,5 6,5 7,5 8	11 12,5 14 15	d + 0,5 d + 0,5 d + 0,5 d + 0,5	18 20 22 24	23 26 28 30	11 12,5 14 15	16 18,5 20 21

DIN 76-C: Gewindefreistich Form C

¹⁾ Für Feingewinde sind Maße des Gewindeauslaufs nach der Steigung P zu wählen.

²⁾ Regelfall; gilt immer dann, wenn keine anderen Angaben gemacht sind.

³⁾ Nur für Fälle, bei denen ein kurzer Gewindefreistich erforderlich ist.



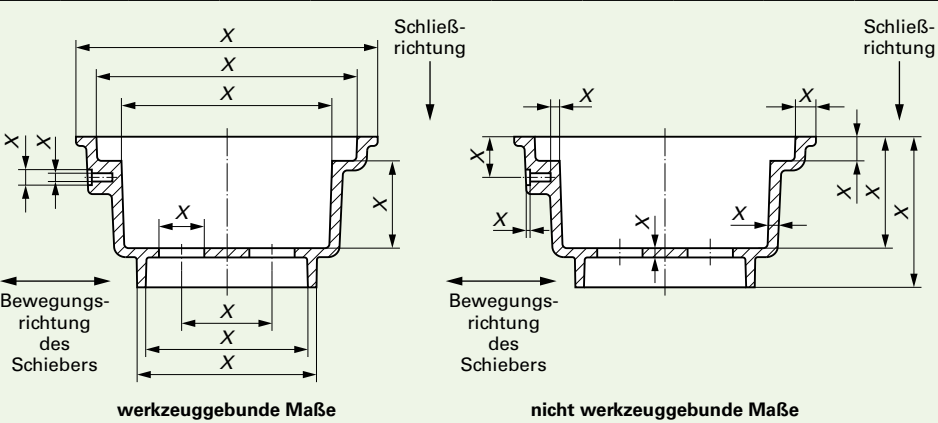
Toleranzen für Kunststoff-Formteile

Für den Kunststoff-Formteilersteller sowie für den Abnehmer ist es wichtig, sinnvolle Maßtoleranzen zu vereinbaren. Zu hohe Genauigkeitsforderungen führen zu hohen Kosten im Formenbau, bei der Formteilerstellung und Qualitätssicherung. Maß-, Form- und Lageabweichungen bei der Anwendung und Fertigung von Kunststoff-Formteilen können nicht mit denen von Metallteilen verglichen werden, da sich Eigenschaften von Kunststoffen und Metallen in vielen Punkten erheblich unterscheiden.

Werkzeugbindung und Formteilmaße

vgl. DIN ISO 20457:2021-06

Unterschiedliche Deformationen und Lageabweichungen von Werkzeugteilen infolge Druckbeanspruchung werden durch die Unterscheidung von werkzeuggebundenen und nicht werkzeuggebundenen Formteilmaßen erfasst. Werkzeuggebundene Maße sind Maße im gleichen Werkzeugteil, während nicht werkzeuggebundene Maße durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Werkzeugteile entstehen und dadurch größere Maßstreuungen bewirken. Neben der Steifigkeit der Werkzeugkonstruktion haben dabei auch die Verarbeitungsbedingungen großen Einfluss.



Toleranzgruppen (TG) mit zugeordneten Grundtoleranzen (IT)

vgl. DIN ISO 20457:2021-06

Nennmaß in mm	ISO-Grundtoleranzgrad (IT) für werkzeuggebundene Maße								
	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9
1 ... 6	8	9	10	11	12	13	14	15	16
> 6 ... 120	9	10	11	12	13	14	15	16	17
> 120 ... 1000	–	11	12	13	14	15	16	17	18

Bei Nennmaßen unter 1 mm und über 1000 mm sind die Toleranzen grundsätzlich vereinbarungspflichtig.

Kunststoff-Formteiltoleranzen als symmetrische Grenzabmaße für Größenmaße

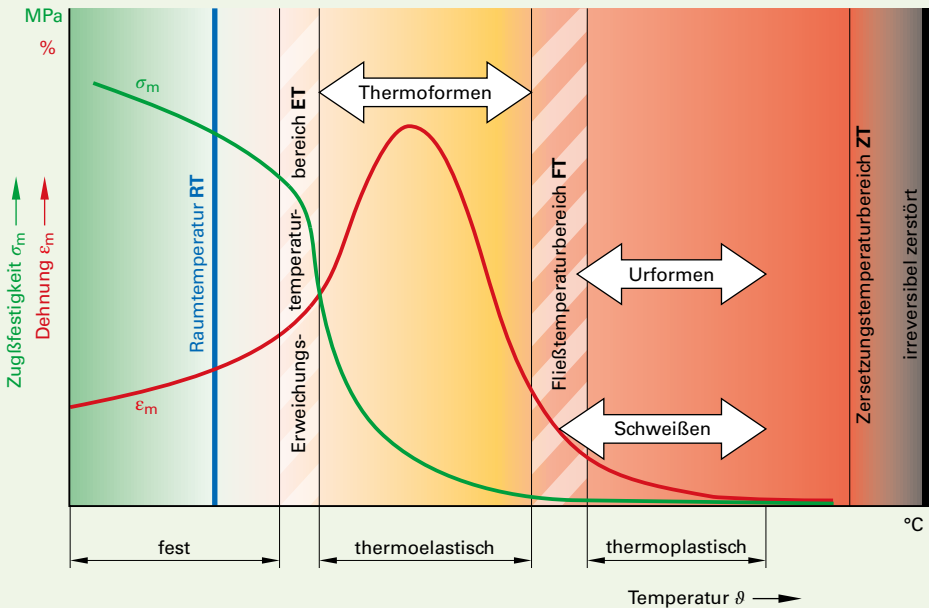
vgl. DIN ISO 20457:2021-06

Toleranzgruppe		Grenzabmaße (GA) in mm für Nenngrößenbereiche (Auszug)								
		> 3 ... 6	> 6 ... 10	> 10 ... 18	> 18 ... 30	> 30 ... 50	> 50 ... 80	> 80 ... 120	> 120 ... 180	> 180 ... 250
TG1	W	± 0,012	± 0,018	± 0,022	± 0,026	± 0,031	± 0,037	± 0,044	–	–
	NW	± 0,018	± 0,022	± 0,026	± 0,031	± 0,037	± 0,044	± 0,055	–	–
TG2	W	± 0,019	± 0,029	± 0,035	± 0,042	± 0,05	± 0,06	± 0,09	± 0,13	± 0,15
	NW	± 0,029	± 0,035	± 0,042	± 0,05	± 0,06	± 0,09	± 0,13	± 0,15	± 0,16
TG3	W	± 0,03	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,23
	NW	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,23	± 0,26
TG4	W	± 0,05	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,13	± 0,15	± 0,23	± 0,32	± 0,35
	NW	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,13	± 0,15	± 0,23	± 0,32	± 0,35	± 0,41



Zustandsdiagramme der Thermoplaste

Amorphe Thermoplaste: Zustandsdiagramm – Verarbeitung



Begriffe

vgl. DIN EN ISO 527-1-2019-12

Zugfestigkeit σ_m	Dehnung bei Zugfestigkeit ϵ_m	Erweichungsbereich ET	Fließtemperaturbereich FT	Zersetzungsbereich ZT
Spannungswert beim ersten Spannungsmaximum Einheit: MPa bzw. N/mm ²	Ort des Auftretens des ersten Spannungsmaximums Einheit: %	Nebervalenzkräfte beginnen sich aufzulösen Einheit: °C	Nebervalenzkräfte lösen sich fast ganz auf, Moleküle „fließen“ Einheit: °C	Hauptvalenzkräfte brechen auf, Moleküle zersetzen sich Einheit: °C

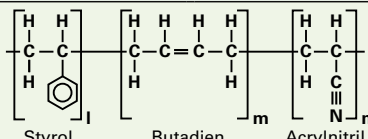
Zustandsformen und mögliche Be- und Verarbeitung

Zustandsform (fließende Übergänge)	fest	thermoelastisch	thermoplastisch
Verhalten, Zustand der Makromoleküle	- Makromoleküle sind stark ineinander verknäult und sehr eng - geringe Dehnbarkeit - Nebervalenzkräfte sind hier sehr stark und bewirken die große Zugfestigkeit	- Makromoleküle schwingen zunehmend - sie werden beweglich und dehnbar - Nebervalenzkräfte sind teilweise aufgelöst und bewirken einen Abfall der Zugfestigkeit	- Makromoleküle sind gegeneinander verschiebbar, sie können fließen - Nebervalenzkräfte sind weitgehend abgebaut, die „Schmelze“ hat keine Zugfestigkeit und keine Dehnbarkeit mehr
Fertigungstechnik	Trennen (Spanen) Sägen, Bohren, Fräsen Fügen Kleben, Schrauben, Nieten Beschichten Lackieren, Galvanisieren	Umformen Biegen, Bördeln, Streckziehen, Positiv- /Negativformen, Prägen	Urformen Spritzgießen, Extrudieren, Kalandrieren, Pressen Fügen Schweißen

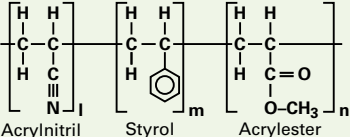


Thermoplaste

ABS – Acrylnitril-Butadien-Styrol

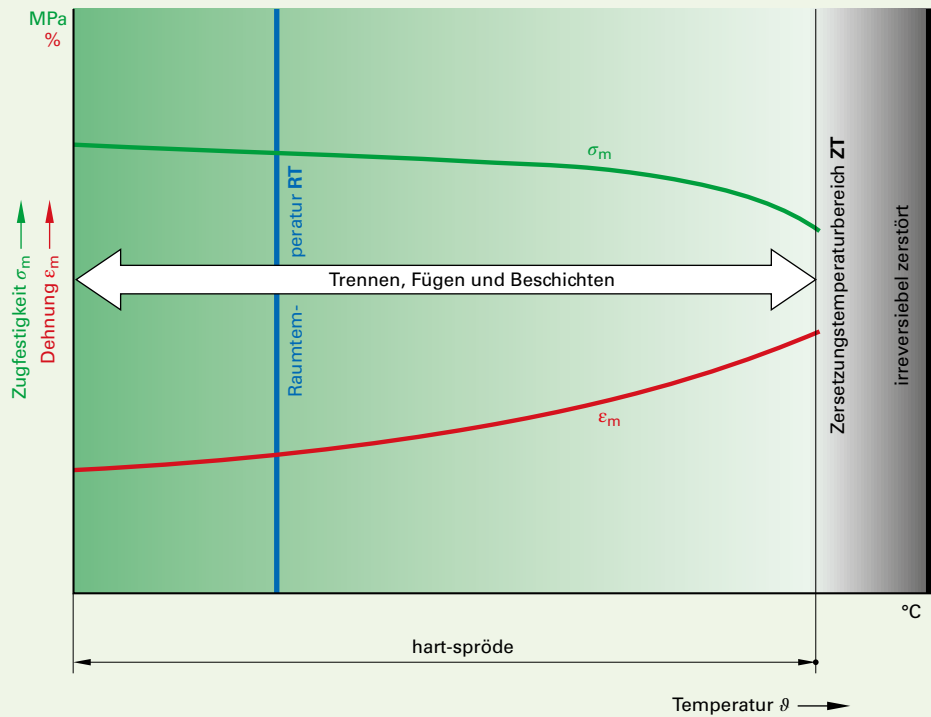
Bezeichnung und Strukturformel			weitere Bezeichnungen	Handelsnamen		
ABS			Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer	Blendex, Lustran (ABS), Novodur, Terluran		
	Styrol Butadien Acrylnitril		Molekülstruktur	Herstellung durch		
			amorph, allerdings große Variationsmöglichkeiten durch Blends mit PC, PA	Co-, Propfpolymerisation oder Blend aus Styrol, Butadien und Acrylnitril		
Eigenschaften	physikalische/mechanische		chemische	thermische/elektrische		
	Dichte ρ	1,03 g/cm ³ ... 1,07 g/cm ³	beständig gegen Benzine, Öle, Fette, unbeständig gegen Mineralsäuren, Benzol, physiologisch unbedenklich	Erweichungstemperaturbereich	110 °C	
	σ_m	40 MPa (N/mm ²)		Gebrauchstemperatur	-30 °C ... +100 °C	
	σ_y	55 MPa (N/mm ²)				
	ϵ_m	10 %		Längenausdehnungskoeffizient α_l	8 ... 10 · 10 ⁻⁵ 1/K	
	Wasseraufnahme	0,35 %				
	E (E-Modul)	2600 MPa		elektrisch stark isolierend		
	Kugeldruckhärte H358/30	90 MPa				
	sehr schlagzäh, kratzfest, schwach hygroskopisch					
Verarbeitung	Urformen		Umformen	Trennen – Fügen – Beschichten		
	Verfahren	Temperaturen	thermoelastischer Bereich ist stark ausgeprägt, daher Umformen sehr gut möglich	sehr gut spanbar; Kleben, Schweißen gut möglich, Schrauben gut anwendbar; Lackieren gut möglich		
	Spritzgießen	≤ 260 °C (Seite 413)				
	Extrudieren	≤ 210 °C (Seite 393)				
Kalandrieren	≤ 250 °C					
Anwendung	Extrusionsblasen		≤ 220 °C			
	Gehäuse, Bedienteile für Fernseher, Radio, Uhren, Lampen, technisches Spielzeug, Karosserieteile, Armaturentafeln, Armlehnen, Kühlerblenden, Boote, Surfbretter, Helme			Brennprobe		
				gelbe, rußende Flamme ohne Abtropfen, leicht süßlich		

ASA – Acrylnitril-Styrol-Acrylester

Bezeichnung und Strukturformel			weitere Bezeichnungen	Handelsnamen	
ASA			schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmasse	Centrex, Gelay, Luran S	
			Molekülstruktur	Herstellung durch	
			amorph, verschiedene Blends, z. B. PC+ASA	Co- bzw. Propfopolymerisation aus Acrylnitril, Styrol und Acrylester	
Eigenschaften	physikalische/mechanische		chemische beständig gegen Benzine, Öle, Fette, unbeständig gegen organische Lösungsmittel	thermische/elektrische	
	Dichte ρ	1,07 g/cm³		Erweichungstemperaturbereich	100 °C
	σ_m	35 MPa (N/mm²)			
	σ_y	56 MPa (N/mm²)		Gebrauchstemperatur	-20 °C ... +90 °C
	ϵ_m	8 %			
	Wasseraufnahme	0,35 %		Längenausdehnungskoeffizient α_l	8 ... 11 · 10 ⁻⁵ 1/K
	E (E-Modul)	2600 MPa			
	Kugeldruckhärte H358/30	100 MPa		elektrisch stark isolierend	
	sehr schlagzäh, kratzfest, sehr witterungsbeständig				
Verarbeitung	Urformen		Umformen thermoelastischer Bereich ist stark ausgeprägt, daher Umformen sehr gut möglich, auch kalt umformbar	Trennen – Fügen – Beschichten sehr gut spanbar; Kleben, Schweißen gut möglich; Lackieren gut möglich	
	Verfahren	Temperaturen			
	Spritzgießen	≤ 260 °C (Seite 413)			
	Extrudieren	≤ 230 °C			
	Kalandrieren	≤ 190 °C			
Anwendung	Extrusionsblasen	≤ 140 °C			
	Gehäuse, Bedienteile für Fernseher, Radio, Telefone, Dampfbügelseisen, Rohre, Fittings, Verkleidungen, Außenspiegel, Ampelgehäuse, Koffer			Brennprobe stark rußende Flamme ohne Abtropfen	

Zustandsdiagramm der Duroplaste

Zustandsdiagramm



Begriffe

Zugfestigkeit σ_m	Dehnung bei Zugfestigkeit ϵ_m	Zersetzungstemperaturbereich ZT
Spannungswert beim ersten Spannungsmaximum Einheit: MPa bzw. N/mm	Ort des Auftretens des ersten Spannungsmaximums Einheit: %	Hauptvalenzkräfte brechen auf, Moleküle zersetzen sich Einheit: $^{\circ}\text{C}$

Zustandsformen und mögliche Be- und Verarbeitung

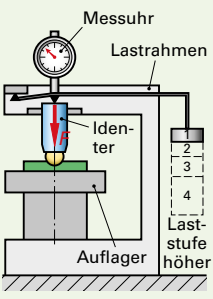
Zustandsform	hart-spröde		Zersetzung
Verhalten, Zustand der Makromoleküle	Makromoleküle sind stark räumlich vernetzt. geringe Dehnbarkeit; hohe Festigkeit, temperatur-unabhängig, formstabil, nicht mehr schmelzbar Hauptvalenzkräfte sind hier sehr stark und bewirken die große Zugfestigkeit.		Haupt- und Nebenvaleanzkräfte sind gebrochen Makromoleküle sind zersetzt
Fertigungstechnik	Trennen (Spanen) Sägen, Bohren, Fräsen, Drehen Fügen Kleben, Schrauben, Nieten	Beschichten Lackieren, Metallisieren	Urformen (nur einmal möglich) Pressen, Schichtpressen, Spritzgießen, Gießen, Laminieren, Schäumen



Prüfungen an Kunststoffen

Kugeldruckversuch

vgl. DIN EN ISO 2039-1:2003-06



HB Kugeldruckhärte
 α Vorfaktor
 ($\approx 0,0535 \text{ mm}^{-1}$)
 F_0 Vorkraft (9,8 N)
 F_m Prüfkraft in N
 h Eindringtiefe in mm

Kugeldruckhärte

$$HB = \frac{\alpha \cdot F_m}{(h - 0,04)}$$

Die Kugeldruckhärte **HB** für einen Kunststoff kann berechnet oder tabellarisch ermittelt werden.

Laststufen

1 ... 4 $\Rightarrow$ niedrig ... am höchsten

Probe

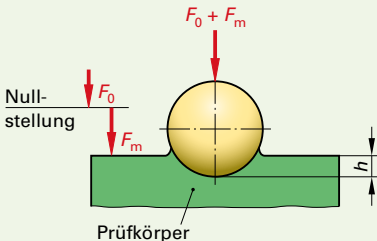
Randabstand: $\geq 10 \text{ mm}$

Probendicke: $\geq 4 \text{ mm}$

Die Prüfkraft F_m ist aus den Werten 49 N, 132 N, 358 N und 961 N so auszuwählen, dass die Eindringtiefe $0,15 \text{ mm} \leq h \leq 0,35 \text{ mm}$ beträgt.

Nach Aufbringen der Vorkraft F_0 wird die Anzeige der Messuhr genullt.

Die Eindringtiefe h wird nach einer Haltezeit von 30 s ermittelt.

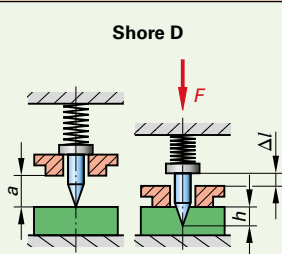
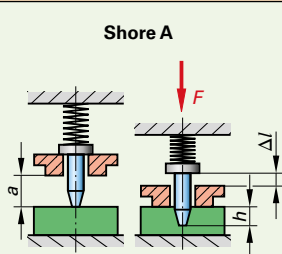


Prüfkraft F_m in N	Kugeldruckhärte HB in N/mm ² bei Eindringtiefe h in mm									
	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34
49	21,84	18,72	16,38	14,56	13,10	11,91	11,92	10,08	9,36	8,73
132	58,82	50,42	44,12	39,22	35,29	32,09	29,41	27,15	25,21	23,53
358	159,54	136,75	119,65	106,36	95,72	87,02	79,77	73,63	68,37	63,81
961	428,25	367,07	321,19	285,50	256,95	233,59	214,13	197,66	183,54	171,30

Beispiel: Kugeldruckhärte ISO 2039 **HB 132/30** = 20 N/mm²
 $\Rightarrow$ Prüfkraft 132 N/Haltezeit 30 s/Härtewert 20 N/mm²

Eindruckhärte nach SHORE A und D bestimmen

vgl. DIN EN ISO 868:2003-10



F Prüfkraft in N (wird durch kalibrierte Feder aufgebracht)
h Eindringtiefe in mm (wird in einen Anzeigewert zwischen 0 und 100 umgewandelt)

Prüfbedingung Shore A

wenn Anzeigewert mit Durometer Typ D < 20

weiche:

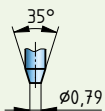
- Thermoplaste
- TPE und Elastomere

Prüfbedingung Shore D

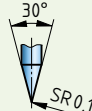
harte:

- Thermoplaste
- Elastomere

Eindringkörper Shore A



Eindringkörper Shore D



Randabstand:
 $\geq 12 \text{ mm}$

Probendicke:
 $\geq 4 \text{ mm}$

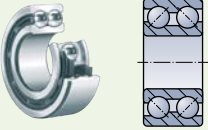
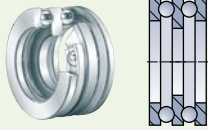
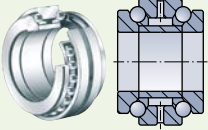
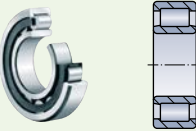
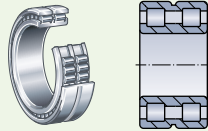
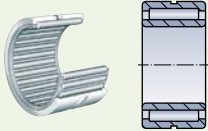
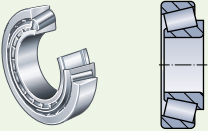
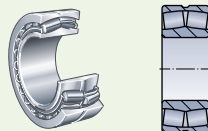
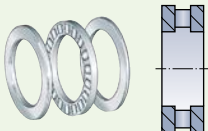
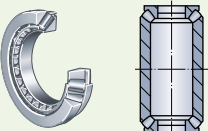
Einwirkdauer: 15 s

weiteres zur Prüfung an Elastomeren, [Seite 239 ff.](#)

Beispiel: Shore A 45: Prüfverfahren nach Shore A; Härtewert 45 (Anzeigewert)

Wälzlager – Übersicht und Eigenschaften

Lagerbauarten (Auswahl)

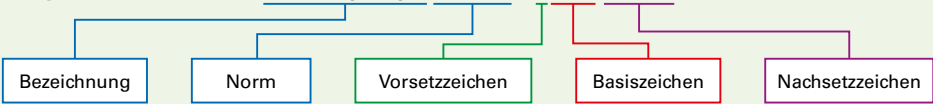
			
Rillenkugellager einreihig	Vierpunktlager	Schräggugellager einreihig	Schräggugellager zweireihig
DIN 625	DIN 628 Teil 4	DIN 628 Teil 1	DIN 628 Teil 3
radial und axial in beiden Richtungen belastbar; vielseitig einsetzbar	radial und axial in beiden Richtungen; hohe Axialkräfte und geringe Radialkräfte	radial und axial in eine Richtung; für hohe Drehzahlen geeignet	radial und axial in beiden Richtungen; für hohe radiale Belastungen
			
Pendelkugellager	Axial-Rillenkugellager einseitig wirkend	Axial-Rillenkugellager zweiseitig wirkend	Axial-Schräggugellager zweiseitig wirkend
DIN 630	DIN 711	DIN 715	nicht genormt
radial und axial in beiden Richtungen; gleicht Wellendurchbiegungen aus	nur in einer axialen Richtung belastbar; für hohe axiale Kräfte	axial in beiden Richtungen belastbar; für hohe axiale Kräfte	radial und axial in beiden Richtungen; vorwiegend für Präzisionsspindeln
			
Zylinderrollenlager einreihig	Zylinderrollenlager zweireihig	Nadellager massiv	Kegelrollenlager
DIN 5412 Teil 1	DIN 5412 Teil 4	DIN 617	ISO 355, DIN 720
nur radiale Belastung; Bauart NJ und HJ auch einseitig axial belastbar	nur radiale Belastung; hauptsächlich zur radialen Abstützung von Hauptspindeln	sehr hohe Radialkräfte bei begrenztem radialem Bauraum	hohe Radialkräfte und Axialkräfte in einer Richtung
			
Tonnenlager	Pendelrollenlager E	Axial-Zylinderrollenlager	Axial-Pendelrollenlager
DIN 635 Teil 1	DIN 635 Teil 2	DIN 722	DIN 728
hohe Radialkräfte und geringe Axialkräfte, Ausgleich von Fluchtfehlern	schwerste Beanspruchung; Ausgleich von Wellendurchbiegung und Fluchtfehlern	einseitig sehr hohe Axialkräfte; stoßunempfindlich	hohe Axialkräfte und geringe Radialkräfte; Ausgleich von Winkel Fehlern

Wälzlager – Bezeichnung

Bezeichnung von Wälzlagern

vgl. DIN 623-1:2015-06

Beispiel: **Rillenkugellager DIN 625 – S6308 W203B**



Basiszeichen **6308**

Lagerreihe 63		
Lagerart		
0	Schräggugellager, zweireihig	DIN 628
1	Pendelkugellager	DIN 630
2	Tonnen- und Pendelrollenlager	DIN 635
3	Kegelrollenlager	DIN 720
4	Rillenkugellager, zweireihig	DIN 625
5	Axial-Rillenkugellager	DIN 711
6	Rillenkugellager, einreihig	DIN 625
7	Schräggugellager, einreihig	DIN 628
8	Axial-Zylinderrollenlager	DIN 722
NA	Nadellager	DIN 617
QJ	Vierpunktlager	DIN 628
N, NJ, NJP, NN, NNU, NU, NUP	Zylinderrollenlager	DIN 5412

Bohrungskennzahl 2-stellig	
Kennzahl	Bohrungs-ø in mm
00	10
01	12
02	15
03	17
04	20
...	= Kennzahl x 5
08	40
...	...

Maßreihe besteht aus 1. Zahl (Breitenreihe) und 2. Zahl (Durchmesserreihe). Bei der Bezeichnung von Rillenkugellagern und Schräggugellagern wird die 0 für die Breitenreihe weggelassen. Mehr im Beispiel unten.

Durchmesserreihe 0					Durchmesserreihe 2				Durchmesserreihe 3				Durchmesserreihe 4	
Breitenreihe					Breitenreihe				Breitenreihe				Breitenreihe	
0	1	2	3	4	0	1	2	3	0	1	2	3	0	2
Maßreihe					Maßreihe				Maßreihe				Maßreihe	
00	10	20	30	40	02	12	22	32	03	13	23	33	04	24

Vorsetzzeichen	
K	Käfig mit Wälzkörpern freier Ring
R	Ring mit Wälzkörpersatz
S	nichtrostender Stahl

Beispiel: Bezeichnung Rillenkugellager

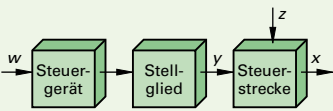
Rillenkugellager
Breitenreihe 0
6305 Durchmesserreihe 3
05 mm x 5 = 25 mm
Bohrungsdurchmesser



Nachsetzzeichen (Auswahl)	
A, B	geänderte Innenkonstruktion
C3	Radialluft größer als normal
E	verstärkte Ausführung
K	Lager mit kegeliger Bohrung
M	Massivkäfig aus Messing, kugelführend
MP	Massiv-Fensterkäfig aus Messing
P2	höchste Maß-, Form- und Laufgenauigkeit
TVP	Massiv-Fensterkäfig aus glasfaserverstärktem Polyamid, kugelführend
2RS, 2RSR	beidseitig Dichtscheiben
2Z, 2ZR	beidseitig Deckscheiben
W203B	Lager aus nichtrostendem Stahl

5 Automatisierungstechnik

5.1 Steuern und Regeln pneumatischer und hydraulischer Anlagen



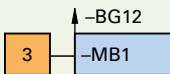
Steuerkette und Regelkreis	294
Pneumatische und hydraulische Schaltpläne	295
Ventile und Selbsthaltung	299
Symbole und Proportionalventile	300

5.2 Darstellung und Auslegung von pneumatischen und hydraulischen Anlagen



Funktionsdiagramme	302
Arbeitsablaufbeschreibung einer pneumatischen Steuerung	303
Pneumatikzylinder	304
Verdichter und Druckbehälter	306
Hydraulikzylinder und Hydraulikpumpen	307
Druckflüssigkeiten	308

5.3 Grafcet



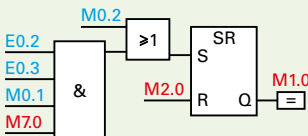
Grundstruktur und Ablaufkette	309
Transitionen und Aktionen	310
Kontinuierlich und speichernd wirkende Aktionen	311
Ablaufkette und Verzweigungen	312
Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	313

5.4 Darstellung und Auslegung von elektropneumatischen Anlagen



Elektropneumatischer Schaltplan	314
Schaltzeichen	315
Sensoren	316
Elektropneumatische Steuerung	318
Binäre Verknüpfungen	319

5.5 SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen



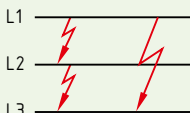
Programmiersprachen	320
Anweisungsliste, Kontaktplan und Funktionsplan	321
Ablaufsteuerung mit SPS	323

5.6 Robotik und Handhabungstechnik



Koordinatensysteme und Achsen von Robotern	324
Aufbau von Robotern	325
Greiferarten, Nullpunkte und Kenndaten	326

5.7 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen



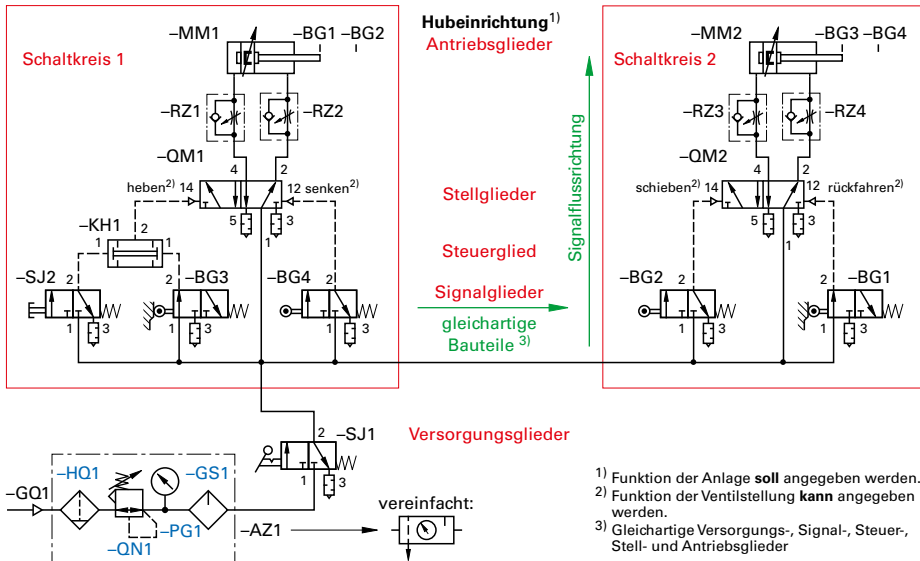
Verteilungssysteme – Netzformen	327
Gefahren und Erste Hilfe bei Stromunfällen	328
Fehlerarten	329
Stromwirkungen auf den Menschen	330
Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Ströme	331
Gefahren beim Betreiben von Motoren	334

Pneumatische und hydraulische Schaltpläne

Kennzeichnung von steuerungstechnischen Systemen

vgl. DIN EN 81346-1:2010-05

Ablauf: –MM1 fährt aus; –MM2 fährt aus; –MM1 fährt ein; –MM2 fährt ein.



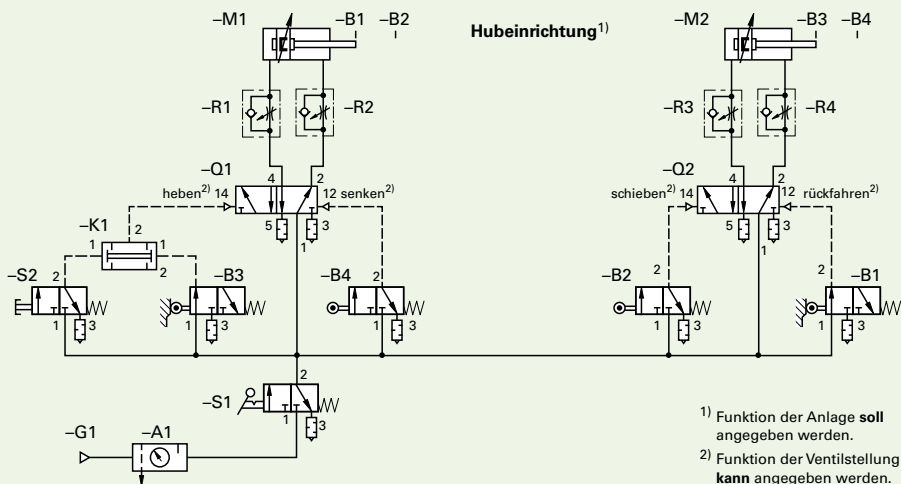
Aufbauregeln

Jede Schaltung wird in Schaltkreise untergliedert. Ein Schaltkreis besteht aus zusammenhängenden Steuerfunktionen. In jedem Schaltkreis werden die Bauteile entsprechend dem Energiefluss von unten nach oben angeordnet. Gleichartige Bauteile wie z. B. Signalglieder werden dabei innerhalb eines Schaltkreises auf gleicher Höhe, unabhängig ihrer Platzierung in der Anlage, dargestellt.

Vereinfachte Kennzeichnung; Beispiel Hubeinrichtung

vgl. DIN EN 81346-1:2010-05

Wenn der erste Kennbuchstabe ausreicht und keine Verwechslungsgefahr besteht, kann der zweite Kennbuchstabe weggelassen werden.



Maschinenfähigkeit, Prozessfähigkeit und Prozessverläufe

Maschinen- und Prozessfähigkeitsuntersuchung

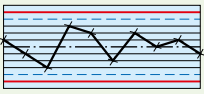
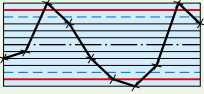
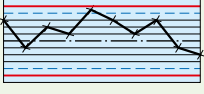
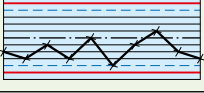
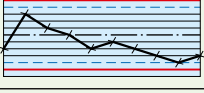
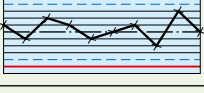
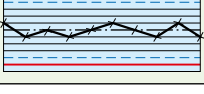
vgl. DIN ISO 22514:2015-06

Die Möglichkeit von Maschinen und Prozessen, Produkte innerhalb geforderter Spezifikationen zu fertigen, wird als Fähigkeit bezeichnet. Dies wird erreicht, indem Fremdeinflüsse bzw. periodisch auftretende Störeinflüsse erkannt und abgestellt werden.

Maschinenfähigkeit	Prozessfähigkeit
Es werden in der Regel 50 nacheinander anfallende Teile entnommen. Der C_m/C_{mk} -Wert sollte $\geq 1,67$ sein. Aus der Maschinenfähigkeit wird abgeleitet, ob die Maschine in der Lage ist, den Fertigungsprozess sicher zu gewährleisten.	Es werden in der Regel 5 Teile in bestimmten Zeitintervallen entnommen. Hieraus wird dann der $\bar{x}$ - und der R-Wert errechnet. Der P_p/P_{pk} - bzw. C_p/C_{pk} -Wert sollte $\geq 1,33$ sein. Aus der Prozessfähigkeit kann man sehen, ob innerhalb eines Zeitraumes bestimmte Trends sichtbar werden.
Maschinenfähigkeitsindex $C_m = \frac{T}{6 \cdot s}$ $C_{mk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot s}$	Prozessfähigkeitsindex $P_p = c_p = \frac{T}{6 \cdot \hat{\sigma}}$ $P_{pk} = c_{pk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot \hat{\sigma}}$
Je nach Lage der Werte wird Δ_{krit} unterschiedlich gebildet. $\bar{x}$ in der oberen Hälfte der Toleranz: $\Delta_{krit} = OTG - \bar{x}$ $\bar{x}$ in der unteren Hälfte der Toleranz: $\Delta_{krit} = \bar{x} - UTG$	
T Toleranz in mm s Standardabweichung in mm Δ_{krit} geschätzte prozessstandardabweichung in mm $\hat{\sigma}$ Abstand zwischen Mittelwert und Toleranzgrenze (OTG/UTG) in mm C_m/C_{mk} Maschinenfähigkeitsindex P_p/P_{pk} bzw. C_p/C_{pk} Prozessfähigkeitsindex	

Beispiel für Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU): $\varnothing 50 \pm 1$; $\bar{x} = 50,19$ mm; $s = 0,193$ mm
 $C_m = T/(6 \cdot s) = 2 \text{ mm}/(6 \cdot 0,193 \text{ mm}) = 1,73$; Da $\bar{x}$ näher an OTG: $\Delta_{krit} = OTG - x_{quer} = 51 \text{ mm} - 50,19 \text{ mm} = 0,81$ mm; $C_{mk} = \Delta_{krit}/(3 \cdot s) = 0,81 \text{ mm}/(3 \cdot 0,193 \text{ mm}) = 1,399 \Rightarrow$ Maschinenfähigkeit ist nicht nachgewiesen

Prozessverläufe

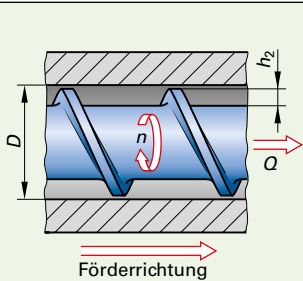
Prozessverlauf	Bezeichnung/Beobachtung	mögliche Ursachen	Maßnahmen
	normaler Verlauf ≈ 70 % aller Messwerte liegen im mittleren Drittel	–	keine, Prozess kann weiterlaufen
	Toleranzgrenzen überschritten ein Wert liegt außerhalb der Toleranzgrenzen	falsch eingestellte Maschinenparameter, vermischte Materialchargen	Prozess anhalten, Ursache beheben, Teile aussortieren (100 %-Prüfung)
	Warn Grenzen überschritten ein Wert liegt außerhalb der Warn-, aber noch innerhalb der Toleranzgrenzen	Prozess verschlechtert sich	verschärfte Prozessüberwachung, neue Stichprobenprüfung
	RUN sieben oder mehr Werte liegen ununterbrochen auf einer Seite	andere Materialcharge, anderer Lieferant, Fertigungspersonal	verschärfte Prozessüberwachung, Ursache ergründen
	TREND sieben oder mehr Werte steigen oder fallen ununterbrochen	ungenügende Werkzeugwartung	Prozess unterbrechen, nach Ursache suchen
	Perioden Werte schwanken regelmäßig um den Mittelwert	systematische Unterschiede, z. B. durch unterschiedliche Messgeräte	Prozess auf äußere Einflüsse untersuchen
	Middle Third min. 15 Werte liegen ununterbrochen im mittleren Drittel	verbesserter Prozess, Wartung, beschönigte Messergebnisse	Ursachen für verbesserten Prozess feststellen

Verfahrensspezifische Berechnungen

Berechnungen zur Ausstoßleistung des Extruders

Gesamtströmung Q

Gesamtströmung und Massestrom geben das überschlägige minimale Leistungsvermögen eines Extruders ohne stoffliche Werte an.



$$Q = D^2 \cdot h_2 \cdot n$$

Q Gesamtströmung in mm^3/s
 D Schneckendurchmesser in mm
 h_2 Gangtiefe in der Ausstoßzone in mm
 n Drehzahl in s^{-1}

Beispiel:

$D = 45 \text{ mm}$ $Q = ?$
 $h_2 = 9 \text{ mm}$
 $n = 2 \text{ s}^{-1}$

$$Q = D^2 \cdot h_2 \cdot n$$

$$Q = 2025 \text{ mm}^2 \cdot 9 \text{ mm} \cdot 2 \text{ s}^{-1}$$

$$Q = 36450 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Massestrom $\dot{m}$ und Druckvolumen Q' mit resultierendem Massestrom $\dot{m}'$

Massestrom $\dot{m}$

$$\dot{m} = Q \cdot \rho$$

$\dot{m}$ Massestrom in g/s oder kg/h
 Q Gesamtströmung in cm^3/s
 ρ Dichte des Kunststoffes in g/cm^3

Druckvolumen Q'

$$Q' = D^2 \cdot h_2$$

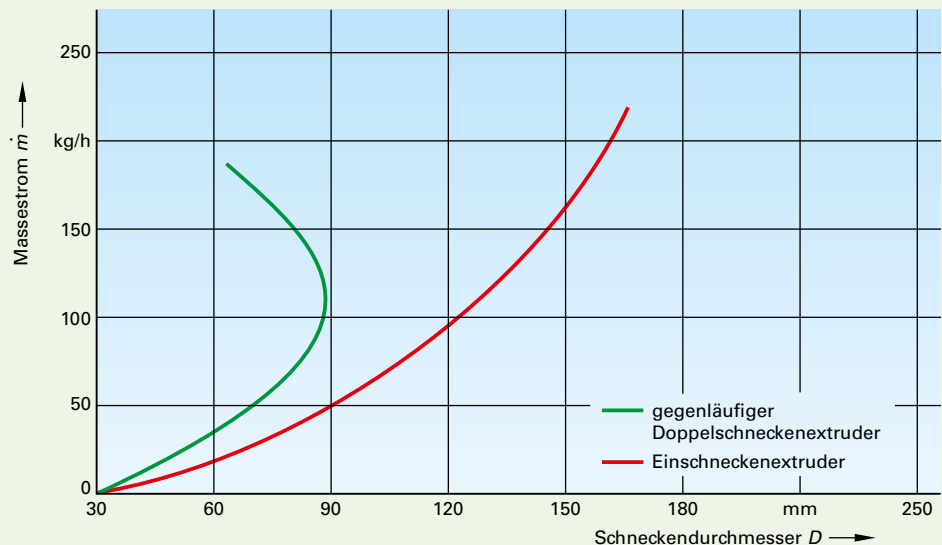
Q' Druckvolumen in cm^3
 D Schneckendurchmesser in cm
 h_2 Gangtiefe der Ausstoßzone in cm

resultierender Massestrom $\dot{m}'$

$$\dot{m}' = \frac{Q' \cdot \rho \cdot n \cdot 60}{1000}$$

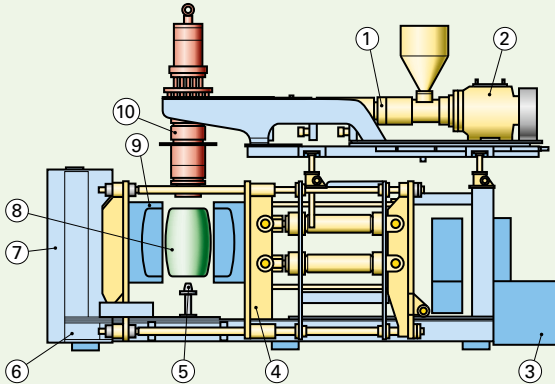
$\dot{m}'$ resultierender Massestrom in g/s oder kg/h
 Q' Druckvolumen in cm^3
 ρ Dichte des Kunststoffes in g/cm^3
 n Drehzahl in s^{-1}

Förderleistung von Einschnecken- und gegenläufigen Doppelschneckenextrudern



Maschinenaufbau und Verfahrenstechnik

Baugruppen der Extrusionsblasformmaschine



Nr.	Bauteil
1	Plastifiziereinheit
2	Schneckenantrieb
3	Hydraulikkaggregat
4	Schließeinheit
5	Kalibrierdorn bzw. Blasdorn
6	Maschinengestell
7	Steuerung
8	Blasteil
9	Blasform
10	Umlenkopf

Zyklusablauf beim Extrusionsblasformen

Zykusschritte	Zeitbereiche				
1. Extrudieren eines Kunststoffschlauchs (Vorformling)	Zykluszeit	Plastifizierzeit			
2. Blaswerkzeug schließen 3. Verschweißung am Boden 4. Schlauch vom Schlauchkopf abtrennen			Blaswerkzeug schließen	Schlauch abtrennen	
5. Aufblasen des Schlauchs mittels Blasdorn bzw. Kalibrierdorn				Schlauch aufblasen	
6. Abtrennen der überstehenden Butzen Zyklus beginnt von Neuem					Butzen abtrennen

Verarbeitungsparameter

Extrusionsblasformen

Verarbeitungsdaten

Material	Vortrocknung	Zylindertemperaturen in °C			Düsentemp. in °C	Werkzeug- temp. in °C	Schwin- dung in %
		Zone 1	Zone 2	Zone 3			
PA 6	80 °C ... 100 °C 3 h ... 6 h	230 ... 250	240 ... 260	240 ... 260	230 ... 260	40 ... 100	1,0 ... 2,5
PBT	120 °C 2 h ... 4 h	240 ... 250	245 ... 255	250 ... 260	240 ... 260	60 ... 100	1,5 ... 1,7
PC	120 °C 2 h ... 4 h	250 ... 260	255 ... 270	255 ... 270	255 ... 270	60 ... 90	0,7 ... 0,9
PE-HD	–	160 ... 170	170 ... 180	180 ... 190	175 ... 190	20	3,0 ... 4,0
POM	100 °C ... 110 °C 3 h	180 ... 230	180 ... 230	190 ... 200	190 ... 210	90 ... 120	1,0 ... 3,0
PP	–	180 ... 190	190 ... 200	195 ... 205	190 ... 210	10 ... 25	3,0 ... 4,0
PVC-U	–	150 ... 160	165 ... 170	170 ... 175	180 ... 190	15 ... 20	0,5 ... 0,7
SBC	–	145 ... 160	165 ... 175	165 ... 180	170 ... 180	30 ... 50	0,5 ... 1,2
TPE	60 °C ... 80 °C 2 h ... 4 h	140 ... 160	150 ... 170	160 ... 180	170 ... 180	40 ... 90	1,5 ... 3,0

Quetschkraft am Butzen

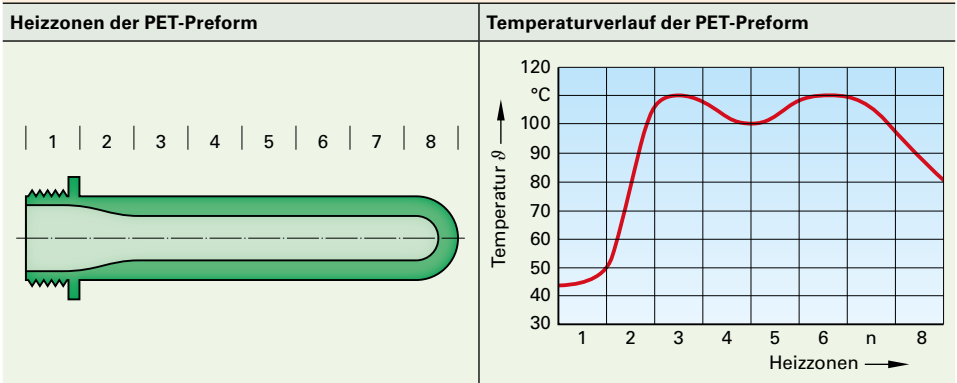
Material	PA	PBT	PC	PE-HD	PP	PVC-U
Quetschkraft in N/cm	1500 ... 2200	1500 ... 2000	1600 ... 1900	1000 ... 1800	1500 ... 1800	700 ... 1200

Maximales Aufblasverhältnis

Material	PA	PBT	PC	PE-HD	PP	TPE	SBC
Aufblas- verhältnis	4:1	2,5:1	3:1	3:1	3:1	2:1 ... 5:1	3:1

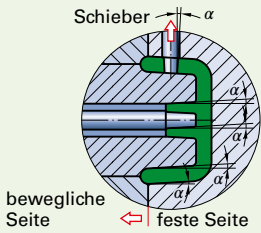
Streckblasen

Temperaturverlauf der Preform



Maschinenaufbau und Verfahrenstechnik

Entformschrägen

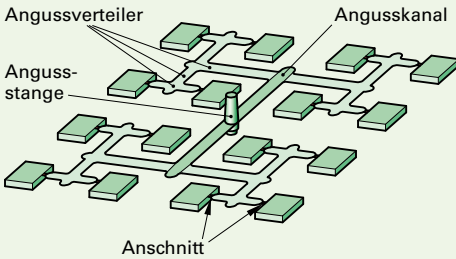


durchschnittliche Entformschrägen verschiedener Kunststoffe

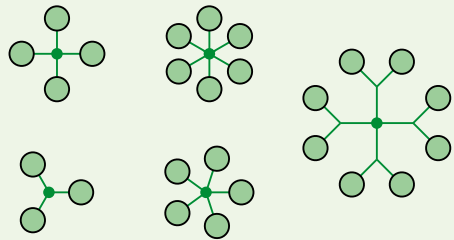
Kunststoff	Entformschräge α in °	Kunststoff	Entformschräge α in °
amorph		teilkristallin	
ABS	0,5	PA66	0,125 ... 0,5
PC	1,0 ... 1,5	PA66/GF	0,25 ... 1,0
PS	1,0 ... 1,5	PE-HD, PP	0,5
SAN	1,0 ... 1,5	PET, PBT	1,0 ... 1,5
SB	1,0	POM	1,0

Angussysteme

Kavität – Bezeichnungen

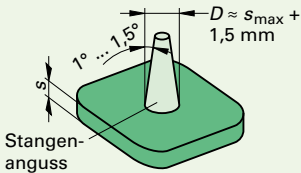


Beispiel: Kavitäten in Ringanordnung

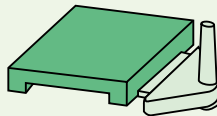


Angussformen

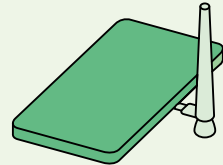
Stangenanguss



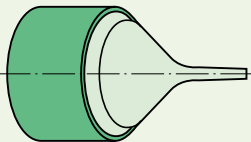
Bandanguss, Filmanguss



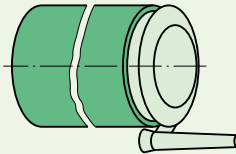
Punktanguss



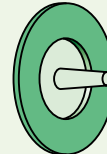
Schirmanguss



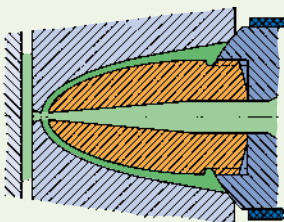
Ringanguss



Scheibenganguss



Vorkammeranguss



Tunnelanguss, Werkzeug geschlossen und geöffnet

