

G. W. Ehrenstein

# **Polymer-Werkstoffe**

Struktur und mechanisches Verhalten

Grundlagen für das technische Konstruieren mit Kunststoffen

Mit 151 Abbildungen

Carl Hanser Verlag München Wien 1978

# Inhalt

Vorwort .....	5
1. Wirtschaftliche Entwicklung - Marktübersicht und Prognose .....	11
2. Allgemeine Charakterisierung der Polymer-Werkstoffe .....	18
2.1 Strukturprinzipien .....	18
2.2 Verformungsverhalten .....	20
2.3 Zustandsbereiche .....	22
3. Aufbau der Polymer-Werkstoffe .....	24
3.1 Haupt- und Nebenvalenzbindungen .....	24
3.1.1 Hauptvalenzbindungen .....	26
3.1.2 Nebenvalenzbindungen .....	27
Dipol-Dipol-Kräfte .....	27
Induktionskräfte .....	28
Dispersionskräfte .....	28
Wasserstoffbrückenbindung .....	28
3.2 Reaktion von Monomeren zu Polymeren .....	29
3.2.1 Polymerisation .....	30
3.2.1.1 Polymerisationsarten .....	31
Radikalische Polymerisation .....	31
Ionische Polymerisation .....	31
3.2.1.2 Polymerisationsverfahren .....	32
Substanzpolymerisation .....	32
Lösungspolymerisation .....	32
Fällungspolymerisation .....	33
Suspensions- und Perlpolymerisation .....	33
Emulsionspolymerisation .....	33
3.2.1.3 Homo- und Copolymerisation .....	35
3.2.2 Polykondensation .....	37
3.2.3 Polyaddition .....	38
3.2.4 Relative Molekülmasse .....	40
3.2.4.1 Verteilung der relativen Molekülmasse .....	40
3.2.4.2 Beeinflussung der Eigenschaften .....	42
3.3 Ordnungszustände .....	47
3.3.1 Allgemeine Betrachtung .....	47
3.3.1.1 Struktur des Makromoleküls .....	47
Kinken und Jogs .....	53
Verzweigungen und Vernetzungen .....	55
3.3.1.2 Thermodynamische Betrachtung teilkristalliner Thermoplaste .....	56
3.3.2 Homogene Polymer-Werkstoffe .....	58
3.3.2.1 Amorpher Zustand .....	58

3.3.2.2	Kristalliner Zustand .....	60
3.3.2.2.1	Kristallisieren .....	60
	Keimbildung und Wachstum .....	60
3.3.2.2.2	Kristalline Überstrukturen .....	68
	Faltungen und Sphärolithe .....	68
3.3.2.2.3	Realkristalle - teilkristalline Polymer-Werkstoffe .....	74
3.3.3	Heterogene Polymer-Werkstoffe .....	79
3.3.3.1	Kautschukmodifizierte Styrolpolymerisate .....	79
3.3.3.2	Weichmachung .....	81
	Äußere Weichmachung .....	82
	Innere Weichmachung .....	84
3.3.4	Heterogene Verbund-Werkstoffe .....	85
	Glasfaserverstärkte Polymer-Werkstoffe .....	85
4.	Thermisch-mechanische Zustandsbereiche .....	88
4.1	Energieelastischer Bereich .....	89
4.2	Entropieelastischer Bereich .....	91
4.3	Erweichungsbereich .....	91
4.4	Fließbereich .....	95
4.5	Einfluß der Molekülstruktur auf die Erweichungs- und Schmelztemperatur .....	95
5.	Einteilung der Polymer-Werkstoffe .....	100
5.1	Thermoplaste .....	100
5.2	Duroplaste .....	101
5.3	Elastomere und Thermoelaste .....	102
6.	Mechanisches Verhalten .....	104
6.1	Allgemeines Verformungsverhalten .....	104
6.1.1	Elastisches, viskoses und viskoelastisches Verformungsverhalten ..	108
6.1.2	Modelle zur Beschreibung des Verformungsverhaltens .....	110
6.1.3	Langzeitverformungsverhalten .....	113
6.1.4	Nichtlineares Verformungsverhalten .....	118
6.1.4.1	Amorphe Polymer-Werkstoffe .....	118
6.1.4.2	Teilkristalline Thermoplaste .....	124
6.1.5	Kennwerte für die Dimensionierung .....	132
6.1.5.1	Festigkeitskennwerte .....	132
6.1.5.2	Verformungskennwerte .....	136
6.1.6	Versagenskriterien bei mehrachsiger Beanspruchung .....	139
6.1.6.1	Unverstärkte Polymer-Werkstoffe .....	140
6.1.6.2	Verstärkte Polymer-Werkstoffe .....	143
6.2	Auswirkungen von Deformationsprozessen in verschiedenen Zustandsbereichen .....	146
6.2.1	Orientierungen .....	146

6.2.1.1	Eingefrorene, irreversible Molekülorientierungen .....	147
6.2.1.2	Schrumpfkkräfte .....	151
6.2.1.3	Füllstofforientierungen .....	152
6.2.2	Eigenspannungen .....	155
6.2.2.1	Abkühlungs-Eigenspannungen .....	155
6.2.2.2	Nachdruck-Eigenspannungen .....	157
6.2.2.3	Einbettungs-Eigenspannungen .....	157
6.2.2.4	Strukturbedingte Eigenspannungen .....	157
6.3	Spezielles mechanisches Verhalten einiger heterogener Polymer-Werkstoffe .....	158
6.3.1	Kautschukmodifizierte Styrolpolymerisate .....	158
6.3.2	Weichgemachtes Polyvinylchlorid (PVC) .....	162
6.3.3	Heterogene Verbund-Werkstoffe .....	163
6.3.3.1	Füll- und Verstärkungswirkung .....	163
6.3.3.2	Krafteinleitung und -übertragung bei glasfaserverstärkten Polymer-Werkstoffen .....	164
7.	Alterung und Abbau der Polymer-Werkstoffe .....	173
7.1	Alterung .....	173
7.2	Wärmebeständigkeit .....	173
8.	Abkürzungen von Polymer-Werkstoff-Namen .....	177
9.	Schrifttum .....	180
10.	Register .....	188