

Erhard Hornbogen

# Werkstoffe

Aufbau und Eigenschaften  
von Keramik-, Metall-, Polymer-  
und Verbundwerkstoffen

7., neu bearbeitete und ergänzte Auflage  
mit 338 Abbildungen und 102 Tabellen



Springer

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Überblick</b>	<b>1</b>
0.1	Was ist ein Werkstoff?	1
0.2	Werkstoffkunde	3
0.3	Mikroskopischer Aufbau und die vier Werkstoffgruppen	5
0.4	Werkstoffeigenschaften	7
0.5	Prüfung, Normung, Bezeichnung	14
0.6	Geschichte und Zukunft	16
<b>Aufbau der Werkstoffe</b>		
<b>1</b>	<b>Aufbau fester Phasen</b>	<b>23</b>
1.1	Atome	23
1.2	Bindung der Atome und Moleküle	28
1.3	Kristalle	38
1.4	Baufehler	44
1.5	Korngrenzen und homogene Gefüge	52
1.6	Gläser und Quasikristalle	56
<b>2</b>	<b>Aufbau mehrphasiger Stoffe</b>	<b>60</b>
2.1	Mischphasen und Phasengemische	60
2.2	Heterogene Gleichgewichte	65
2.3	Keimbildung, Kristallisation von Schmelzen	79
2.4	Metastabile Gleichgewichte	82
2.5	Anwendungen von Phasendiagrammen	85
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Wärmebehandlung</b>	<b>88</b>
3.1	Diffusion	88
3.2	Kristallerholung und Rekristallisation	97
3.3	Glasbildung	103
3.4	Umwandlungen und Ausscheidung	104
3.5	Thermische Stabilität	109
3.6	Martensitische Umwandlung	112
3.7	Heterogene Gefüge	115

---

**Eigenschaften der Werkstoffe**

<b>4</b>	<b>Mechanische Eigenschaften</b>	121
4.1	Mechanische Beanspruchung und Elastizität	121
4.2	Zugversuch und Kristallplastizität	128
	a) Makroskopische Betrachtung der Plastizität	128
	b) Mikroskopische Betrachtung der Plastizität	131
4.3	Kriechen	139
4.4	Bruch	146
	a) Mikroskopische und makroskopische Aspekte	146
	b) Bruchmechanik, statische Belastung und Anriss	149
	c) Ermüdung	154
4.5	Innere Spannungen	158
4.6	Gummielastizität und Pseudoelastizität	160
4.7	Viskosität von Flüssigkeiten und Gläsern	161
4.8	Viskoelastizität und Dämpfung	164
4.9	Mehrachsiges Beanspruchung, mechanische Anisotropie	167
4.10	Technische Prüfverfahren	172
<b>5</b>	<b>Physikalische Eigenschaften</b>	177
5.1	Kernphysikalische Eigenschaften	177
5.2	Elektrische Eigenschaften, Werkstoffe der Elektrotechnik	185
5.3	Wärmeleitfähigkeit	199
5.4	Ferromagnetische Eigenschaften, weich- und hartmagnetische Werkstoffe	200
5.5	Supraleiter	207
5.6	Optische Eigenschaften	209
5.7	Thermische Eigenschaften	212
5.8	Formgedächtnis	215
<b>6</b>	<b>Chemische und tribologische Eigenschaften</b>	220
6.1	Oberflächen und Versagen des Werkstoffs	220
6.2	Oberflächenreaktionen und elektrochemische Korrosion	221
6.3	Verzundern	228
6.4	Spannungsrißkorrosion	231
6.5	Oberflächen, Grenzflächen und Adhäsion	232
6.6	Reibung und Verschleiß	236

**Die vier Werkstoffgruppen**

<b>7</b>	<b>Keramische Werkstoffe</b>	245
7.1	Allgemeine Kennzeichnung	245
7.2	Einatomare keramische Stoffe	247
7.3	Nichtoxidische Verbindungen	249

Inhaltsverzeichnis	XIII
7.4 Kristalline Oxidkeramik . . . . .	252
7.5 Anorganische, nichtmetallische Gläser . . . . .	257
7.6 Hydratisierte Silikate, Zement, Beton . . . . .	262
<b>8 Metallische Werkstoffe . . . . .</b>	<b>269</b>
8.1 Allgemeine Kennzeichnung . . . . .	269
8.2 Reine Metalle, elektrische Leiter . . . . .	270
8.3 Mischkristalle, Messing, Bronzen . . . . .	272
8.4 Ausscheidungshärtung, Al-, Ni-Legierungen . . . . .	280
8.5 Umwandlungshärtung, Stähle . . . . .	289
8.6 Gußlegierungen und metallische Gläser . . . . .	305
<b>9 Polymerwerkstoffe . . . . .</b>	<b>313</b>
9.1 Allgemeine Kennzeichnung . . . . .	313
9.2 Plastomere oder Thermoplaste . . . . .	320
9.3 Duromere oder Kunstharze . . . . .	328
9.4 Elastomere oder Gummi . . . . .	330
9.5 Besondere Kunststoffe . . . . .	332
9.6 Schmierstoffe . . . . .	339
9.7 Natürliche Polymere . . . . .	341
<b>10 Verbundwerkstoffe . . . . .</b>	<b>345</b>
10.1 Eigenschaften von Phasengemischen . . . . .	345
10.2 Faserverstärkte Werkstoffe . . . . .	349
10.3 Stahlbeton und Spannbeton . . . . .	357
10.4 Hartmetalle und Cermets . . . . .	359
10.5 Oberflächenbehandlung . . . . .	362
10.6 Holz . . . . .	367
 <b>Werkstofftechnik</b>	
<b>11 Werkstoff und Fertigung . . . . .</b>	<b>373</b>
11.1 Halbzeug und Bauteil . . . . .	373
11.2 Urformen: Gießen, Sintern, Aufdampfen . . . . .	375
11.3 Umformen . . . . .	386
11.4 Trennen: Spanen und Schleifen . . . . .	394
11.5 Fügen: Schweißen, Löten, Kleben . . . . .	396
11.6 Nachbehandlung . . . . .	402
<b>12 Der Kreislauf der Werkstoffe . . . . .</b>	<b>404</b>
12.1 Vom Rohstoff zum Schrott . . . . .	404
12.2 Auswahl und Sicherheit . . . . .	411
12.3 Verbesserte und neue Werkstoffe . . . . .	416

---

12.4 Gebrauch und Versagen . . . . .	418
12.5 Entropieeffizienz und Nachhaltigkeit . . . . .	424

### **Anhang**

A.1 Periodensystem . . . . .	431
A.2 Größen und Einheiten . . . . .	432
A.3 Bezeichnung der Werkstoffe (Abschn. 0.7 und 12.2) . . . . .	437
A.4 Neue Normbezeichnungen für Meßgrößen aus der mechanischen Werkstoffprüfung . . . . .	443
A.5 Einige werkstoffnahe Normen . . . . .	443
A.6 ASTM-Korngrößen . . . . .	444
A.7 Englische Kurzbezeichnungen für Verfahren der mikroskopischen und makroskopischen Analyse der Struktur von Werkstoffen . . . . .	445
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>446</b>
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>453</b>