

1 Werkstofftechnologie in Industrie und Wirtschaft	
1.1 Werkstoffe und Werkstofftechnik	11
1.2 Bedeutung der Werkstofftechnik	11
1.3 Wirtschaftliche Aspekte der Werkstofftechnik	12
1.4 Werkstoffbegriff und Werkstoffeinteilung	12
1.4.1 Stoffe und Werkstoffe	12
1.4.2 Einteilung der Werkstoffe	14
1.4.3 Entwicklung der Werkstofftechnik	15
1.4.4 Werkstoffprüfung	15
1.5 Eigenschaften der Werkstoffe	16
1.6 Werkstoffauswahl	17
2 Grundlagen der Metallkunde	
2.1 Aufbau der Metalle	19
2.2 Atombau und Periodensystem der Elemente	19
2.2.1 Bau der Atome	19
2.2.2 Periodensystem der Elemente (PSE)	21
2.3 Chemische Bindungen	23
2.3.1 Primäre chemische Bindungen	23
2.3.1.1 Ionenbindung	23
2.3.1.2 Atombindung	24
2.3.1.3 Metallbindung	25
2.3.2 Sekundäre chemische Bindungen	26
2.3.2.1 Dispersionswechselwirkungen	26
2.3.2.2 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	27
2.3.2.3 Dipol-Ion-Wechselwirkungen	27
2.3.2.4 Induktionsbindungen	27
2.3.2.5 Wasserstoffbrückenbindungen	27
2.4 Gitteraufbau der Metalle	28
2.4.1 Kristallgittermodelle	28
2.4.2 Kristallgitter von Metallen	29
2.5 Realkristalle und Gitterbaufehler	31
2.5.1 Realkristalle	32
2.5.2 Gitterbaufehler	32
2.5.2.1 Nulldimensionale Gitterbaufehler	32
2.5.2.2 Eindimensionale Gitterbaufehler	33
2.5.2.3 Zweidimensionale Gitterbaufehler	36
2.6 Gefüge	39
2.7 Anisotropie und Textur	41
2.8 Elastische und plastische Verformung	42
2.8.1 Elastische Verformung	42
2.8.2 Plastische Verformung	43
2.8.2.1 Versetzungsgleitung	43
2.8.2.2 Gleitebenen und Gleitsysteme	44
2.8.2.3 Zwillingsbildung und Korngrenzen-gleitung	45
2.8.2.4 Plastische Verformung von Vielkristallen	46
2.9 Verfestigungsmechanismen	47
2.9.1 Korngrenzenverfestigung (Feinkornhärtung)	47
2.9.2 Mischkristallverfestigung	47
2.9.3 Teilchenverfestigung	48
2.9.4 Verformungsverfestigung (Kaltverfestigung)	50
2.9.5 Überlagerung der Verfestigungs-mechanismen	51
2.10 Thermisch aktivierte Prozesse	52
2.10.1 Diffusion	52
2.10.2 Erholung und Rekristallisation	55
2.10.2.1 Verformungsstrukturen	55
2.10.2.2 Erholung	56
2.10.2.3 Rekristallisation	58
2.10.2.4 Kornvergrößerung und sekundäre Rekristallisation	62
2.10.2.5 Kalt- und Warmverformung	62
2.10.2.6 Teilentfestigte Zustände	63
2.10.3 Kriechen	63
2.10.3.1 Kriechen und Werkstoffschädigung	64
2.10.3.2 Primäres Kriechen (Übergangskriechen)	65
2.10.3.3 Sekundäres Kriechen (stationäres Kriechen)	65
2.10.3.4 Tertiäres Kriechen (beschleunigtes Kriechen)	65
2.10.3.5 Warmfeste und hochwarmfeste Stähle und Legierungen	66
2.10.4 Sintern	66
2.10.4.1 Festphasensintern einphasiger Pulver	67
2.10.4.2 Festphasensintern zwei- bzw. mehrphasiger Pulver	67
2.10.4.3 Flüssigphasensintern	68
2.10.4.4 Reaktionssintern	69
3 Grundlagen der Legierungskunde	
3.1 Aggregatzustände und Phasen	70
3.2 Phasenumwandlungen	71
3.3 Kristallstrukturen von Legierungen	71
3.3.1 Mischkristalle	71
3.3.2 Kristallgemische	72
3.4 Intermetallische Phasen	73
3.5 Überstrukturen	74
3.6 Zustandsdiagramme	75
3.6.1 Binäre Zustandsdiagramme	76
3.6.1.1 Erstellung binärer Zustandsdiagramme	76
3.6.1.2 Lesen binärer Zustandsdiagramme	77
3.6.1.3 Kristallseigerung und Zonenmisch-kristall	77
3.6.2 Grundtypen binärer Zustandsdiagramme	79

3.6.2.1	Vollkommene Unlöslichkeit im festen und flüssigen Zustand	79	4.5.1.2	Emaillieren	119
3.6.2.2	Vollkommene Löslichkeit im festen und flüssigen Zustand (Linsendiagramm) ..	79	4.5.1.3	Anstreichen und Lackieren	119
3.6.2.3	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und vollkommene Unlöslichkeit im festen Zustand (eutektisches Legierungssystem)	80	4.5.2	Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	120
3.6.2.4	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und begrenzte Löslichkeit im festen Zustand (eutektisches Legierungssystem mit Mischungslücke)	81	4.5.2.1	Wirbelsintern	120
3.6.2.5	Peritektisches Zustandsdiagramm	81	4.5.2.2	Thermisches Spritzen	120
3.6.3	Zustandsdiagramme mit Verbindungsbildung	82	4.5.3	Beschichten durch Schweißen	122
3.6.4	Reale Zustandsdiagramme	83	4.5.4	Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	122
3.6.5	Ternäre Zustandsdiagramme	84	4.5.4.1	CVD-Verfahren	122
			4.5.4.2	PVD-Verfahren	123
			4.5.5	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	125
4	Wechselwirkungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Fertigungsverfahren		4.5.5.1	Galvanisches Beschichten	125
4.1	Urformen	87	4.5.5.2	Chemisches Beschichten	125
4.1.1	Kristallisation und Gefüge	87	4.5.6	Weitere Verfahren zur Erzeugung einer Oberflächenschicht	126
4.1.2	Gussfehler	89	4.5.6.1	Plattieren	126
4.1.3	Gießbarkeit metallischer Werkstoffe ..	91	4.5.6.2	Anodische Oxidation (Eloxieren)	127
4.1.3.1	Fließ- und Formfüllungsvermögen	91	4.5.6.3	Phosphatieren	128
4.1.3.2	Schwindung	92	4.5.6.4	Chromatieren	129
4.1.3.3	Schmelzverhalten von Gusswerkstoffen	92	4.5.6.5	Brünieren	130
4.1.4	Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften beim Gießen	93	4.6	Stoffeigenschaften ändern	130
4.1.5	Züchten von Einkristallen	94	4.6.1	Verfestigen durch Umformen	130
4.2	Umformen	95	4.6.1.1	Verfestigen durch Walzen	130
4.2.1	Kaltumformung	95	4.6.1.2	Verfestigen durch Ziehen	131
4.2.2	Warmumformung	96	4.6.1.3	Verfestigen durch Schmieden	132
4.2.3	Neue Umformverfahren	97	4.6.2	Wärmebehandeln	132
4.3	Trennen	99	4.6.3	Thermomechanisches Behandeln	134
4.3.1	Zerteilen und Zerspanen	99	4.6.4	Sintern und Brennen	134
4.3.2	Zerspanbarkeit	99	4.6.5	Magnetisieren	134
4.3.3	Spanformen	100	4.6.6	Bestrahlen	134
4.3.4	Automatenlegierungen	100	4.6.7	Fotochemische Verfahren	134
4.4	Fügen	101	5	Gewinnung, Formgebung und Recycling metallischer Werkstoffe und Legierungen	
4.4.1	Schweißen	101	5.1	Überblick zur Gewinnung metallischer Werkstoffe	135
4.4.1.1	Schweißbarkeit	101	5.1.1	Gewinnung metallischer Rohstoffe	135
4.4.1.2	Einteilung der Schweißverfahren	102	5.1.2	Verfahren der Metallgewinnung	136
4.4.1.3	Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften durch das Schweißen ..	103	5.1.3	Raffinationsverfahren	137
4.4.2	Löten	112	5.1.4	Metallische Werkstoffe und deren Handelsformen	137
4.4.2.1	Vor- und Nachteile des Lötens	112	5.2	Eisen- und Stahlerzeugung	137
4.4.2.2	Einteilung der Lötverfahren	112	5.2.1	Hochofenprozess	138
4.4.2.3	Lötmechanismus	112	5.2.1.1	Hochofen	139
4.4.2.4	Metallurgische Probleme beim Löten ..	113	5.2.1.2	Reduktionsvorgang	140
4.4.2.5	Flussmittel, Lötatmosphären und Vakuum	114	5.2.1.3	Produkte des Hochofenprozesses	142
4.4.2.6	Lotwerkstoffe	115	5.2.2	Direktreduktionsverfahren	143
4.5	Beschichten	118	5.2.3	Stahlerzeugung	144
4.5.1	Beschichten aus dem flüssigen Zustand ..	118	5.2.3.1	Sauerstoffblasverfahren	144
4.5.1.1	Schmelztauchen	118	5.2.3.2	Elektrolichtbogenofen-Verfahren	147
			5.2.3.3	Stahl-Sekundärmetallurgie	147
			5.3	Erzeugung von Nichteisenmetallen ...	149
			5.3.1	Gewinnung von Aluminium	149
			5.3.2	Gewinnung weiterer Nichteisenmetalle	151
			5.4	Legieren von Metallen	152

5.5	Formgebungsverfahren für metallische Werkstoffe	153	6.4.3	Glühen	208
5.5.1	Gießen	153	6.4.3.1	Normalglühen von Stählen	208
5.5.1.1	Formgießen	153	6.4.3.2	Weichglühen von Stählen (Glühen auf kugelige Carbide)	210
5.5.1.2	Formatgießen (Halbzeuggießen)	156	6.4.3.3	Spannungsarmglühen	211
5.5.2	Umformen	158	6.4.3.4	Rekristallisationsglühen	212
5.5.2.1	Walzen	159	6.4.3.5	Diffusionsglühen (Homogenisierungs-glühen)	214
5.5.2.2	Durchdrücken	160	6.4.3.6	Grobkornglühen (Hochglühen)	215
5.5.2.3	Freiform- und Gesenkschmieden	160	6.4.4	Härten	217
5.5.2.4	Ziehen	161	6.4.4.1	Ziele der Stahlhärtung	217
5.6	Recycling von metallischen Werkstoffen	162	6.4.4.2	Verfahren	217
5.6.1	Recycling von Stahl und Gusseisen	163	6.4.4.3	Härtetemperatur	217
5.6.2	Recycling von Nichtisenmetallen	163	6.4.4.4	Abkühlgeschwindigkeit und Gefügeausbildung	218
6	Eisenwerkstoffe		6.4.4.5	Kritische Abkühlgeschwindigkeit	223
6.1	Reines Eisen	164	6.4.4.6	Kohlenstofflöslichkeit des Austenits	225
6.2	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	166	6.4.4.7	Temperaturbereich der Martensitbildung	225
6.2.1	Phasenausbildungen in Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	166	6.4.4.8	Restaustenit und Tiefkühlung	225
6.2.1.1	Mischkristalle (Ferrit, Austenit und δ -Ferrit)	166	6.4.4.9	Abschreckhärte	226
6.2.1.2	Verbindungsphasen (Zementit und ϵ -Carbid)	168	6.4.4.10	Härtenspannungen	227
6.2.1.3	Stabile Phase (Grafit)	168	6.4.4.11	Abschrecken und Abschreckmittel	229
6.2.2	Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm	169	6.4.4.12	Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramme (ZTU-Diagramme)	230
6.2.2.1	Erstarrungsformen von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	169	6.4.4.13	Zeit-Temperatur-Austenitisierungsdiagramme (ZTA-Diagramme)	234
6.2.2.2	Aufbau des metastabilen Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramms	170	6.4.5	Anlassen und Vergüten	237
6.2.2.3	Bezeichnungen im metastabilen System	171	6.4.5.1	Innere Vorgänge beim Anlassen	238
6.2.2.4	Erstarrungsvorgänge im metastabilen System	171	6.4.5.2	Anlassen der legierten Stähle	239
6.2.2.5	Stahlecke des metastabilen Systems	174	6.4.5.3	Versprödungserscheinungen beim Anlassen von Stählen	240
6.3	Eisenbegleiter und Legierungselemente	177	6.4.5.4	Vergüten	242
6.3.1	Begleitelemente und nichtmetallische Einschlüsse	177	6.4.6	Verfahren des Oberflächenhärtens	247
6.3.1.1	Mangan (Mn)	178	6.4.6.1	Einteilung der Oberflächenhärteverfahren	247
6.3.1.2	Silicium (Si)	179	6.4.6.2	Randschichthärteverfahren	248
6.3.1.3	Phosphor (P)	180	6.4.6.3	Thermochemisches Behandeln	253
6.3.1.4	Schwefel (S)	181	6.5	Eigenschaften und Verwendung von Stählen	265
6.3.1.5	Stickstoff (N)	183	6.5.1	Einteilung der Stähle	265
6.3.1.6	Sauerstoff (O)	184	6.5.1.1	Einteilung der Stähle nach Hauptgüteklassen	265
6.3.1.7	Wasserstoff (H)	185	6.5.1.2	Einteilung der Stähle nach dem Verwendungszweck	267
6.3.1.8	Zusammenfassung der Wirkungsweisen von Begleitelementen in Stählen	187	6.5.2	Unlegierte Baustähle	268
6.3.1.9	Nichtmetallische Einschlüsse	187	6.5.2.1	Anwendung unlegierter Baustähle	268
6.3.2	Legierungselemente	190	6.5.2.2	Normung und Gütegruppen unlegierter Baustähle	268
6.3.2.1	Allgemeine Wirkungsweisen von Legierungselementen in Stählen	190	6.5.2.3	Technologische Eigenschaften unlegierter Baustähle	269
6.3.2.2	Wirkungsweisen ausgewählter Legierungselemente	197	6.5.2.4	Werkstoffkundliche Besonderheiten unlegierter Baustähle	270
6.3.2.3	Wirkungsweise mehrerer Legierungselemente im Stahl	205	6.5.3	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle	270
6.4	Wärmebehandlung der Stähle	206	6.5.3.1	Werkstoffkundliche Grundlagen schweißgeeigneter Feinkornbaustähle	271
6.4.1	Prinzip einer Wärmebehandlung	206	6.5.3.2	Stahlsorten und Gütegruppen	272
6.4.2	Einteilung der Wärmebehandlungsverfahren	208	6.5.4	Federstähle	276
			6.5.4.1	Anforderungen an metallische Federwerkstoffe	276

6.5.4.2	Federstahlsorten	277	6.6.3.3	Gusseisen mit Lamellengrafit	320
6.5.5	Vergütungsstähle	278	6.6.3.4	Gusseisen mit Kugelgrafit	326
6.5.6	Einsatzstähle	278	6.6.3.5	Ausferritisches Gusseisen mit Kugelgrafit	329
6.5.7	Nitrierstähle	278	6.6.3.6	Gusseisen mit Vermiculargrafit	331
6.5.8	Warmfeste Stähle	278	6.6.3.7	Temperguss	331
6.5.8.1	Anforderungen an warmfeste Stähle ...	278	6.6.3.8	Perlitischer Hartguss	337
6.5.8.2	Werkstoffverhalten und Werkstoff- kennwerte bei erhöhter Temperatur ...	279	6.6.3.9	Sondergusseisen	338
6.5.8.3	Warmfeste Stahlsorten	279			
6.5.9	Kaltzähe Stähle	280	7	Nichteisenmetalle	
6.5.9.1	Werkstoffverhalten und Kennwerte bei tiefen Temperaturen	280	7.1	Aluminiumwerkstoffe	346
6.5.9.2	Kaltzähe Stahlsorten	280	7.1.1	Reinaluminium	346
6.5.10	Nichtrostende Stähle	281	7.1.2	Aluminium-Knetlegierungen	348
6.5.10.1	Einteilung der nichtrostenden Stähle ...	282	7.1.3	Aluminium-Gusslegierungen	350
6.5.10.2	Ferritische und halbferritische Chromstähle	282	7.1.4	Aluminiumschäume	353
6.5.10.3	Martensitische Chromstähle	285	7.1.4.1	Aufschäumprozesse	353
6.5.10.4	Austenitische Chrom-Nickel-Stähle ...	286	7.1.4.2	Eigenschaften von Aluminiumschäumen	354
6.5.10.5	Schweißtechnische Verarbeitung nichtrostender Stähle	289	7.1.5	Aushärten von Aluminiumlegierungen .	355
6.5.11	Hitze- und zunderbeständige Stähle ...	290	7.1.5.1	Verfahren	356
6.5.11.1	Ferritische zunderbeständige Stähle ..	290	7.1.5.2	Innere Vorgänge	357
6.5.11.2	Austenitische zunderbeständige Stähle und Nickel-Chrom-Legierungen .	291	7.1.6	Verarbeitung von Aluminiumwerkstoffen	359
6.5.12	Druckwasserstoffbeständige Stähle ...	292	7.1.6.1	Gießen	359
6.5.13	Automatenstähle	293	7.1.6.2	Umformen	359
6.5.14	Höherfeste Stähle für den Automobil-Leichtbau	295	7.1.6.3	Zerspanen	360
6.5.14.1	Mikrolegierte höherfeste Stähle	296	7.1.6.4	Schweißen	360
6.5.14.2	Phosphorlegierte Stähle	296	7.2	Magnesiumwerkstoffe	361
6.5.14.3	Bake-Hardening-Stähle	297	7.2.1	Eigenschaften des Magnesiums	361
6.5.14.4	IF-Stähle	297	7.2.2	Magnesiumlegierungen	361
6.5.14.5	Dualphasen-Stähle (DP-Stähle)	297	7.2.2.1	Magnesium-Gusslegierungen	362
6.5.14.6	Stähle mit Restaustenit	298	7.2.2.2	Magnesium-Knetlegierungen	363
6.5.14.7	Complexphasen-Stähle	299	7.2.3	Verarbeitung von Magnesium- legierungen	365
6.5.14.8	Martensit-Phasen-Stähle	299	7.2.3.1	Gießen von Magnesiumlegierungen ...	365
6.5.14.9	TWIP-Stähle	299	7.2.3.2	Umformen von Magnesiumlegierungen	365
6.5.15	Höchstfeste Stähle	300	7.2.4	Entwicklungstendenzen	366
6.5.15.1	Höchstfeste Vergütungsstähle	300	7.3	Titan und Titanlegierungen	366
6.5.15.2	Martensitaushärtende Stähle (Maraging Steels)	301	7.4	Silicium	369
6.5.16	Werkzeugstähle	302	7.5	Kupferwerkstoffe	371
6.5.16.1	Anforderungen an Werkzeugstähle ...	302	7.5.1	Unlegiertes Kupfer	371
6.5.16.2	Erschmelzung von Werkzeugstählen ...	303	7.5.1.1	Sauerstoffhaltiges (zähgepoltes) Kupfer	372
6.5.16.3	Einteilung der Werkzeugstähle	303	7.5.1.2	Desoxidiertes Kupfer	374
6.5.16.4	Unlegierte Kaltarbeitsstähle	303	7.5.1.3	Sauerstofffreies Kupfer hoher Leitfähigkeit	374
6.5.16.5	Legierte Kaltarbeitsstähle	304	7.5.2	Niedriglegierte Kupferwerkstoffe	380
6.5.16.6	Warmarbeitsstähle	305	7.5.3	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) ...	382
6.5.16.7	Schnellarbeitsstähle	307	7.5.4	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)	384
6.6	Eisengusswerkstoffe	313	7.5.5	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronzen) ...	384
6.6.1	Einteilung der Eisengusswerkstoffe ...	313	7.5.6	Kupfer-Nickel-Legierungen	386
6.6.2	Stahlguss	314	7.5.7	Kupfer-Aluminium-Legierungen	387
6.6.2.1	Gießbarkeit von Stahlguss	315	7.5.8	Kupfer-Mangan-Legierungen (Manganbronzen)	388
6.6.2.2	Wärmebehandlung von Stahlguss ...	315	7.5.9	Kupfer-Blei-Legierungen (Bleibronzen) .	388
6.6.2.3	Stahlgussorten	315	7.5.10	Kupfer-Silicium-Legierungen	388
6.6.3	Gusseisenwerkstoffe	319	7.6	Nickel	389
6.6.3.1	Erschmelzung von Gusseisen- werkstoffen	319	7.6.1	Eigenschaften von Nickel	389
6.6.3.2	Gusseisendiagramme	319	7.6.2	Nickel-Legierungen und deren Anwendungen	390

7.7	Zinkwerkstoffe	394	8.3.2.2	Normung von Magnesiumwerkstoffen nach ASTM	437
7.7.1	Zink-Knetlegierungen	395	8.3.3	Normung von Kupferwerkstoffen	437
7.7.2	Zink-Gusslegierungen	395	8.3.3.1	Unlegiertes Kupfer	437
7.8	Zinn	396	8.3.3.2	Kupferlegierungen	437
7.8.1	Eigenschaften von Zinn	396	9	Kunststoffe	
7.8.2	Weichlote	396	9.1	Eigenschaften der Kunststoffe	440
7.8.3	Gleitlagerwerkstoffe	397	9.2	Geschichtliche Entwicklung	441
7.9	Blei	398	9.3	Herstellung der Kunststoffe	442
7.9.1	Gewinnung und Eigenschaften von Blei	398	9.3.1	Ausgangsstoffe zur Kunststoffherstellung	443
7.9.2	Bleiwerkstoffe	398	9.3.2	Prinzipien der Kunststoffherstellung	444
7.10	Technisch weniger bedeutsame Metalle	399	9.3.2.1	Polymerisation und Polymerisate	444
7.10.1	Alkali- und Erdalkalimetalle	399	9.3.2.2	Polykondensation und Polykondensate	452
7.10.2	Erdmetalle bzw. die Bor-Gruppe	401	9.3.2.3	Polyaddition und Polyaddukte	457
7.10.3	Kohlenstoff-Gruppe	402	9.3.3	Spezialkunststoffe	458
7.10.4	Metalle der Stickstoff-Gruppe	403	9.3.4	Faserverstärkte Kunststoffe	459
7.10.5	Metalle der Sauerstoff-Gruppe	404	9.4	Einteilung und struktureller Aufbau der Kunststoffe	461
7.10.6	Silber und Gold	405	9.4.1	Thermoplaste (Plastomere)	462
7.10.7	Metalle der 2. Nebengruppe	406	9.4.1.1	Amorphe Thermoplaste	462
7.10.8	Scandium, Yttrium und die Seltenerdmetalle	406	9.4.1.2	Teilkristalline Thermoplaste	462
7.10.9	Metalle der 4. Nebengruppe	407	9.4.2	Duroplaste (Duromere)	466
7.10.10	Metalle der 5. Nebengruppe	408	9.4.3	Elastomere	466
7.10.11	Metalle der 6. Nebengruppe	409	9.4.4	Thermoplastische Elastomere	467
7.10.12	Mangan und Cobalt	410	9.5	Mechanisch-thermisches Verhalten der Kunststoffe	467
7.10.13	Platinmetalle	411	9.5.1	Charakterisierung der Zustandsbereiche	468
7.10.14	Thorium und Uran	412	9.5.1.1	Energieelastischer Bereich	469
7.11	Verbundwerkstoffe	412	9.5.1.2	Nebenerweichungsbereich (NEB)	469
7.11.1	Einteilung der Verbundwerkstoffe	412	9.5.1.3	Haupterweichungsbereich (HEB)	469
7.11.2	Metal Matrix Composites (MMC)	413	9.5.1.4	Entropieelastischer Bereich	470
7.11.2.1	Herstellung von MMC	414	9.5.1.5	Fließbereich	470
7.11.2.2	Eigenschaften von MMC	414	9.5.2	Amorphe Thermoplaste	471
7.11.3	Werkstoffverbunde	415	9.5.3	Teilkristalline Thermoplaste	471
8	Normung und Benennung metallischer Werkstoffe		9.5.4	Duroplaste	472
8.1	Stahlnormung	417	9.5.5	Elastomere	472
8.1.1	Stahlnormung durch Kurznamen	417	9.5.6	Thermoplastische Elastomere	473
8.1.1.1	Kennzeichnung der Stähle nach der Verwendung oder den mechanischen sowie physikalischen Eigenschaften	419	9.6	Normung und Bezeichnung von Kunststoffen	474
8.1.1.2	Kennzeichnung der Stähle nach der chemischen Zusammensetzung	419	9.6.1	Allgemeine Kennzeichnung von Kunststoffen	474
8.1.2	Stahlnormung durch Werkstoffnummern	425	9.6.1.1	Kurzzeichen für Homopolymere und chemisch modifizierte polymere Naturstoffe	474
8.2	Normung von Gusseisenwerkstoffen	427	9.6.1.2	Copolymere und Polymergemische	475
8.2.1	Normung durch Kurzzeichen	427	9.6.1.3	Kennzeichnung besonderer Eigenschaften	475
8.2.2	Normung durch Werkstoffnummern	428	9.6.1.4	Kennzeichnung von Zusatzstoffen	476
8.3	Normung von Nichteisenmetallen (NE-Metalle)	429	9.6.2	Kennzeichnung thermoplastischer Formmassen	476
8.3.1	Normung von Aluminiumwerkstoffen	429	9.6.3	Kennzeichnung von Duroplasten	477
8.3.1.1	Aluminium-Knetwerkstoffe	430	9.6.4	Kennzeichnung von Elastomeren	478
8.3.1.2	Aluminium-Gusswerkstoffe	434	9.7	Verarbeitung von Kunststoffen	479
8.3.2	Normung von Magnesiumwerkstoffen	435	9.7.1	Zuschlagstoffe	479
8.3.2.1	Normung von Magnesiumwerkstoffen nach DIN EN 1754	435	9.7.2	Urformen und Umformen	479

9.7.2.1	Formpressen	480	10.8	Elektro- und Magnetokeramik	517
9.7.2.2	Spritzgießen	480	10.8.1	Elektrokeramik	517
9.7.2.3	Extrudieren	481	10.8.1.1	Trägerkörper	517
9.7.2.4	Kalandrieren	481	10.8.1.2	Dielektrische keramische Werkstoffe	518
9.7.2.5	Umformen	482	10.8.1.3	Kaltleiter	518
9.7.3	Mechanische Bearbeitung	482	10.8.1.4	Heißeiter	518
9.7.4	Verarbeitung aus Lösungen und Dispersionen	484	10.8.1.5	Piezokeramik	519
9.7.4.1	Lacke	485	10.8.1.6	Keramische Supraleiter	520
9.7.4.2	Klebstoffe	485	10.8.2	Magnetokeramik	521
9.7.5	Additive Fertigung	486	10.8.2.1	Dauermagnetische Ferrite (Hartferrite)	521
9.8	Kunststoffe und Umwelt	488	10.8.2.2	Weichmagnetische Ferrite	522
10	Keramische Werkstoffe		10.9	Herstellungs- und Bearbeitungs- verfahren für keramische Werkstoffe	523
10.1	Einordnung keramischer Werkstoffe	490	10.9.1	Rohstoffgewinnung	525
10.2	Eigenschaften keramischer Werkstoffe	490	10.9.2	Massenaufbereitung	525
10.2.1	Allgemeine Eigenschaften	490	10.9.3	Formgebung	525
10.2.2	Physikalische Eigenschaften	491	10.9.4	Trocknen und Ausheizen	528
10.2.3	Mechanische Eigenschaften	492	10.9.5	Grün- und Weißbearbeitung, Vorbrand	528
10.2.3.1	Festigkeit und Hochtemperaturfestigkeit	492	10.9.7	Endbearbeitung (Hartbearbeitung)	530
10.2.3.2	Härte	493	10.10	Nanokeramik	530
10.2.3.3	Verformbarkeit und Zähigkeit	493	11	Korrosion und Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe	
10.2.4	Thermische Eigenschaften	494	11.1	Einteilung und Übersicht	531
10.2.4.1	Wärmeausdehnung und Temperatur- wechselbeständigkeit	494	11.2	Elektrochemische Korrosion	531
10.2.4.2	Wärmeleitfähigkeit	494	11.2.1	Lösungstension	532
10.2.5	Elektrische und magnetische Eigenschaften	495	11.2.2	Elektrochemische Spannungsreihe	532
10.2.5.1	Elektrische Leitfähigkeit	495	11.2.3	Stromdichte-Potenzial-Kurven	534
10.2.5.2	Dielektrisches Verhalten	495	11.2.4	Wasserstoffkorrosion	535
10.2.6	Chemische Eigenschaften	496	11.2.5	Sauerstoffkorrosion	535
10.3	Einteilung keramischer Werkstoffe	496	11.3	Rost	536
10.4	Innere Struktur und Gefüge keramischer Werkstoffe	497	11.4	Erscheinungsformen der Korrosion	537
10.5	Silicatkeramische Werkstoffe	498	11.5	Korrosionsschutz	538
10.5.1	Technisches Porzellan	499	11.5.1	Passiver Korrosionsschutz	539
10.5.2	Steatit	500	11.5.1.1	Überzüge mit Metalloxiden	539
10.5.3	Cordieritkeramik	500	11.5.1.2	Überzüge mit edleren Metallen	540
10.6	Oxidkeramische Werkstoffe	501	11.5.1.3	Überzüge mit unedleren Metallen	541
10.6.1	Aluminiumoxid (Al_2O_3)	501	11.5.1.4	Überzüge mit Nichtmetallen	541
10.6.2	Zirkondioxid (ZrO_2)	503	11.5.2	Aktiver Korrosionsschutz	542
10.6.3	Aluminiumtitanat (Al_2TiO_5)	505	11.5.3	Konstruktive Maßnahmen	543
10.6.4	Magnesiumoxid (MgO)	507	12	Tribologie	
10.6.5	Weitere oxidkeramische Werkstoffe	507	12.1	Tribosysteme	545
10.7	Nichtoxidkeramische Werkstoffe	507	12.1.1	Aufbau eines Tribosystems	545
10.7.1	Keramische Werkstoffe aus elementaren Stoffen	509	12.1.2	Funktion eines Tribosystems	546
10.7.2	Metallische Hartstoffe	510	12.2	Hauptgebiete der Tribologie	546
10.7.2.1	Carbide	510	12.2.1	Reibung	546
10.7.2.2	Nitride	510	12.2.1.1	Reibungsarten	547
10.7.2.3	Boride	511	12.2.1.2	Reibungsmechanismen bei Festkörperreibung	547
10.7.2.4	Silicide	511	12.2.1.3	Reibungszustände in geschmierten Gleitpaarungen	548
10.7.3	Nichtmetallische Hartstoffe	511	12.2.2	Schmierung und Schmierstoffe	549
10.7.3.1	Siliciumcarbid (SiC)	511	12.2.2.1	Schmieröle	550
10.7.3.2	Siliciumnitrid (Si_3N_4)	514	12.2.2.2	Schmierfette	552
10.7.3.3	Bornitrid (BN)	516	12.2.2.3	Festschmierstoffe	553
10.7.3.4	Borcarbid (B_4C)	517			

12.2.3	Verschleiß	553	13.4.4	Torsions- oder Verdrehversuch	600
12.2.3.1	Verschleißmechanismen	553	13.4.5	Scherversuch	601
12.2.3.2	Verschleißarten	557	13.4.6	Härteprüfungen	602
12.3	Verschleißbeständige (tribotechnische) Werkstoffe	559	13.4.6.1	Einteilung der Härteprüfverfahren	602
12.3.1	Verwendung von Stählen bzw. Stahlguss mit hoher Verschleißbeständigkeit	559	13.4.6.2	Statische Härteprüfverfahren	603
12.3.2	Oberflächenschutzschichten	559	13.4.6.3	Dynamische Härteprüfverfahren	613
12.3.3	Verwendung verschleißbeständiger Werkstoffe	562	13.4.7	Zähigkeitsprüfverfahren	615
13	Werkstoffprüfung		13.4.7.1	Zähigkeit	615
13.1	Aufgaben der Werkstoffprüfung	563	13.4.7.2	Sicherheitsrelevanz der Zähigkeit	616
13.2	Einteilung der Werkstoffprüfverfahren	564	13.4.7.3	Spröder und zäher Gewaltbruch	616
13.3	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfverfahren	565	13.4.7.4	Einflussfaktoren auf die Zähigkeit	617
13.3.1	Eindringprüfung	565	13.4.7.5	Verfahren der Zähigkeitsprüfung	618
13.3.2	Magnetische und induktive Prüfverfahren	566	13.4.8	Schwingfestigkeitsversuche	623
13.3.2.1	Magnetische Streuflussverfahren	567	13.4.8.1	Entstehung von Schwingrissen	625
13.3.2.2	Wirbelstromprüfung	568	13.4.8.2	Ermüdungsbruchflächen	626
13.3.3	Ultraschallprüfungen	569	13.4.8.3	Versuche zum Ermüdungsverhalten	626
13.3.4	Durchstrahlungsverfahren	576	13.4.8.4	Einstufige Schwingfestigkeitsversuche (Wöhlerversuche)	627
13.3.4.1	Werkstoffprüfung mit Röntgenstrahlen	576	13.4.8.5	Betriebsfestigkeitsversuche	630
13.3.4.2	Werkstoffprüfung mit Gammastrahlen	579	13.4.8.6	Schwingprüfmaschinen	632
13.3.4.3	Nachweis von Röntgen- und Gammastrahlung	580	13.4.9	Zeitstandversuch	633
13.3.4.4	Prüfbare Probendicken	581	13.4.9.1	Durchführung von Zeitstandversuchen	633
13.3.4.5	Vergleich zwischen Röntgen- und Gammastrahlen	581	13.4.9.2	Werkstoffkennwerte	634
13.3.5	Vergleich der zerstörungsfreien Werkstoffprüfverfahren	581	13.4.9.3	Spannungsrelaxation	635
13.4	Mechanische Werkstoffprüfverfahren	583	13.5	Technologische Prüfungen	636
13.4.1	Zugversuch	584	13.5.1	Tiefungsversuch nach <i>Erichsen</i>	637
13.4.1.1	Versuchsdurchführung	584	13.5.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach <i>Swift</i>	637
13.4.1.2	Probengeometrie	585	13.5.3	Technologischer Biegeversuch	638
13.4.1.3	Spannungs-Dehnungs-Diagramme	586	13.5.4	Stirnabschreckversuch nach <i>Jominy</i>	638
13.4.1.4	Ermittlung von Werkstoffkennwerten im Zugversuch	589	13.6	Mechanische Prüfverfahren für Kunststoffe	640
13.4.1.5	Bruchvorgänge, Bruchformen und Bruchflächen	594	13.6.1	Zugversuch an Kunststoffen	642
13.4.2	Druckversuch	597	13.6.1.1	Probengeometrie	642
13.4.3	Biegeversuch	599	13.6.1.2	Versuchsdurchführung	642
			13.6.1.3	Kennwerte	642
			13.6.2	Härteprüfung an Kunststoffen	644
			13.6.2.1	Kugeleindruckversuch	646
			13.6.2.2	Härteprüfung nach <i>Shore</i> an Kunststoffen	648
			13.6.2.3	Internationaler Gummihärtegrad (IRHD)	648
			13.6.3	Charpy-Schlagversuch nach ISO	649
			Sachwortverzeichnis	651	