

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 Korngrenzengleitung	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 Verfestigungsmechanismen	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 Zonenmischkristall	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	Wechselwirkungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Fertigungsverfahren		4.5.4.2	PVD-Verfahren	123
4.1	Urformen	87	4.5.5	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	125
4.1.1	Kristallisation und Gefüge	87	4.5.5.1	Galvanisches Beschichten	125
4.1.2	Gussfehler	89	4.5.5.2	Chemisches Beschichten	125
4.1.3	Gießbarkeit metallischer Werkstoffe ...	91	4.5.6	Weitere Verfahren zur Erzeugung einer Oberflächenschicht	126
4.1.3.1	Fließ- und Formfüllungsvermögen....	91	4.5.6.1	Plattieren	126
4.1.3.2	Schwindung	92	4.5.6.2	Anodische Oxidation (Eloxieren)	127
4.1.3.3	Schmelzverhalten von Gusswerkstoffen	92	4.5.6.3	Phosphatieren	128
4.1.4	Beeinflussung der Werkstoff-eigenschaften beim Gießen	93	4.5.6.4	Chromatieren	129
4.1.5	Züchten von Einkristallen	94	4.5.6.5	Brünieren	130
4.2	Umformen	95	4.6	Stoffeigenschaften ändern	130
4.2.1	Kaltumformung	95	4.6.1	Verfestigen durch Umformen	130
4.2.2	Warmumformung	96	4.6.1.1	Verfestigen durch Walzen	130
4.2.3	Neue Umformverfahren	97	4.6.1.2	Verfestigen durch Ziehen	131
4.3	Trennen	99	4.6.1.3	Verfestigen durch Schmieden	132
4.3.1	Zerteilen und Zerspanen	99	4.6.2	Wärmebehandeln	132
4.3.2	Zerspanbarkeit	99	4.6.3	Thermomechanisches Behandeln	134
4.3.3	Spanformen	100	4.6.4	Sintern und Brennen	134
4.3.4	Automatenlegierungen	100	4.6.5	Magnetisieren	134
4.4	Fügen	101	4.6.6	Bestrahlen	134
4.4.1	Schweißen	101	4.6.7	Fotochemische Verfahren	134
4.4.1.1	Schweißbarkeit	101	5	Gewinnung, Formgebung und Recycling metallischer Werkstoffe und Legierungen	
4.4.1.2	Einteilung der Schweißverfahren	102	5.1	Überblick zur Gewinnung metallischer Werkstoffe	135
4.4.1.3	Beeinflussung der Werkstoff-eigenschaften durch das Schweißen ...	103	5.1.1	Gewinnung metallischer Rohstoffe	135
4.4.2	Löten	112	5.1.2	Verfahren der Metallgewinnung	136
4.4.2.1	Vor- und Nachteile des Lötzens	112	5.1.3	Raffinationsverfahren	137
4.4.2.2	Einteilung der Lötverfahren	112	5.1.4	Metallische Werkstoffe und deren Handelsformen	137
4.4.2.3	Lötmechanismus	112	5.2	Eisen- und Stahlerzeugung	137
4.4.2.4	Metallurgische Probleme beim Löten ..	113	5.2.1	Hochofenprozess	138
4.4.2.5	Flussmittel, Lötabmosphären und Vakuum	114	5.2.1.1	Hochofen	139
4.4.2.6	Lotwerkstoffe	115	5.2.1.2	Reduktionsvorgang	140
4.5	Beschichten	118	5.2.1.3	Produkte des Hochofenprozesses	142
4.5.1	Beschichten aus dem flüssigen Zustand	118	5.2.2	Direktreduktionsverfahren	143
4.5.1.1	Schmelztauchen	118	5.2.3	Stahlerzeugung	144
			5.2.3.1	Sauerstoffblasverfahren	144
			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	Härteln	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 Nichteisenmetallen	163	6.4.4.4	Abkühlgeschwindigkeit und Gefügeausbildung	218
6 Eisenwerkstoffe					
6.1	Reines Eisen	164	6.4.4.5	Kritische Abkühlgeschwindigkeit	223
6.2	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	166	6.4.4.6	Kohlenstofflöslichkeit des Austenits	225
6.2.1	Phasenausbildungen in Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	166	6.4.4.7	Temperaturbereich der Martensitbildung	225
6.2.1.1	Mischkristalle (Ferrit, Austenit und δ -Ferrit)	166	6.4.4.8	Restaustenit und Tiefkühlung	225
6.2.1.2	Verbindungsphasen (Zementit und e -Carbid)	168	6.4.4.9	Abschreckhärte	226
6.2.1.3	Stabile Phase (Grafit)	168	6.4.4.10	Härtespannungen	227
6.2.2	Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm	169	6.4.4.11	Abschrecken und Abschreckmittel	229
6.2.2.1	Erstarrungsformen von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	169	6.4.4.12	Zeit-Temperatur-Umwandlungs- diagramme (ZTU-Diagramme)	230
6.2.2.2	Aufbau des metastabilen Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramms	170	6.4.4.13	Zeit-Temperatur-Austenisierungs- diagramme (ZTA-Diagramme)	234
6.2.2.3	Bezeichnungen im metastabilen System	171	6.4.5	Anlassen und Vergüten	237
6.2.2.4	Erstarrungsvorgänge im metastabilen System	171	6.4.5.1	Innere Vorgänge beim Anlassen	238
6.2.2.5	Stahlecke des metastabilen Systems	174	6.4.5.2	Anlassen der legierten Stähle	239
6.3	Eisenbegleiter und Legierungselemente	177	6.4.5.3	Versprödungserscheinungen beim Anlassen von Stählen	240
6.3.1	Begleitelemente und nichtmetallische Einschlüsse	177	6.4.5.4	Vergüten	242
6.3.1.1	Mangan (Mn)	178	6.4.6	Verfahren des Oberflächenhärtens	247
6.3.1.2	Silicium (Si)	179	6.4.6.1	Einteilung der Oberflächenhärte- verfahren	247
6.3.1.3	Phosphor (P)	180	6.4.6.2	Randschichthärteverfahren	248
6.3.1.4	Schwefel (S)	181	6.4.6.3	Thermochemisches Behandeln	253
6.3.1.5	Stickstoff (N)	183	6.5	Eigenschaften und Verwendung von Stählen	265
6.3.1.6	Sauerstoff (O)	184	6.5.1	Einteilung der Stähle	265
6.3.1.7	Wasserstoff (H)	185	6.5.1.1	Einteilung der Stähle nach Hauptgüteklassen	265
6.3.1.8	Zusammenfassung der Wirkungsweisen von Begleitelementen in Stählen	187	6.5.1.2	Einteilung der Stähle nach dem Verwendungszweck	267
6.3.1.9	Nichtmetallische Einschlüsse	187	6.5.2	Unlegierte Baustähle	268
6.3.2	Legierungselemente	190	6.5.2.1	Anwendung unlegierter Baustähle	268
6.3.2.1	Allgemeine Wirkungsweisen von Legierungselementen in Stählen	190	6.5.2.2	Normung und Gütegruppen unlegierter Baustähle	268
6.3.2.2	Wirkungsweisen ausgewählter Legierungselemente	197	6.5.2.3	Technologische Eigenschaften unlegierter Baustähle	269
6.3.2.3	Wirkungsweise mehrerer Legierungselemente im Stahl	205	6.5.2.4	Werkstoffkundliche Besonderheiten unlegierter Baustähle	270
6.4	Wärmebehandlung der Stähle	206	6.5.3	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle	270
6.4.1	Prinzip einer Wärmebehandlung	206	6.5.3.1	Werkstoffkundliche Grundlagen schweißgeeigneter Feinkornbaustähle	271
6.4.2	Einteilung der Wärmebehandlungs- verfahren	208	6.5.3.2	Stahlsorten und Gütegruppen	272
			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 Kugelgraffit	326
6.5.6	Einsatzstähle	278	6.6.3.5	Ausferritisches Gusseisen mit Kugelgraffit	329
6.5.7	Nitrierstähle	278	6.6.3.6	Gusseisen mit Vermiculargraffit	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			
6.5.9.1	Werkstoffverhalten und Kennwerte bei tiefen Temperaturen	280			
6.5.9.2	Kaltzähe Stahlsorten	280			
6.5.10	Nichtrostende Stähle	281			
6.5.10.1	Einteilung der nichtrostenden Stähle	282			
6.5.10.2	Ferritische und halbferritische Chromstähle	282			
6.5.10.3	Martensitische Chromstähle	285			
6.5.10.4	Austenitische Chrom-Nickel-Stähle	286			
6.5.10.5	Schweißtechnische Verarbeitung nichtrostender Stähle	289			
6.5.11	Hitze- und zunderbeständige Stähle	290			
6.5.11.1	Ferritische zunderbeständige Stähle	290			
6.5.11.2	Austenitische zunderbeständige Stähle und Nickel-Chrom-Legierungen	291			
6.5.12	Druckwasserstoffbeständige Stähle	292			
6.5.13	Automatenstähle	293			
6.5.14	Höherfeste Stähle für den Automobil-Leichtbau	295			
6.5.14.1	Mikrolegierte höherfeste Stähle	296			
6.5.14.2	Phosphorlegierte Stähle	296			
6.5.14.3	Bake-Hardening-Stähle	297			
6.5.14.4	IF-Stähle	297			
6.5.14.5	Dualphasen-Stähle (DP-Stähle)	297			
6.5.14.6	Stähle mit Restaustenit	298			
6.5.14.7	Complexphasen-Stähle	299			
6.5.14.8	Martensit-Phasen-Stähle	299			
6.5.14.9	TWIP-Stähle	299			
6.5.15	Höchstfeste Stähle	300			
6.5.15.1	Höchstfeste Vergütungsstähle	300			
6.5.15.2	Martensitaushärtende Stähle (Maraging Steels)	301			
6.5.16	Werkzeugstähle	302			
6.5.16.1	Anforderungen an Werkzeugstähle	302			
6.5.16.2	Erschmelzung von Werkzeugstählen	303			
6.5.16.3	Einteilung der Werkzeugstähle	303			
6.5.16.4	Unlegierte Kaltarbeitsstähle	303			
6.5.16.5	Legierte Kaltarbeitsstähle	304			
6.5.16.6	Warmarbeitsstähle	305			
6.5.16.7	Schnellarbeitsstähle	307			
6.6	Eisengusswerkstoffe	313			
6.6.1	Einteilung der Eisengusswerkstoffe	313			
6.6.2	Stahlguss	314			
6.6.2.1	Gießbarkeit von Stahlguss	315			
6.6.2.2	Wärmebehandlung von Stahlguss	315			
6.6.2.3	Stahlgussarten	315			
6.6.3	Gusseisenwerkstoffe	319			
6.6.3.1	Erschmelzung von Gusseisen- werkstoffen	319			
6.6.3.2	Gusseisendiagramme	319			
6.6.3.3	Gusseisen mit Lamellengrafit	320			
6.6.3.4	Gusseisen mit Kugelgraffit	326			
6.6.3.5	Ausferritisches Gusseisen mit Kugelgraffit	329			
6.6.3.6	Gusseisen mit Vermiculargraffit	331			
6.6.3.7	Temperguss	331			
6.6.3.8	Perlitischer Hartguss	337			
6.6.3.9	Sondergusseisen	338			
7	Nichteisenmetalle				
7.1	Aluminiumwerkstoffe	346			
7.1.1	Reinaluminium	346			
7.1.2	Aluminium-Knetlegierungen	348			
7.1.3	Aluminium-Gusslegierungen	350			
7.1.4	Aluminiumschäume	353			
7.1.4.1	Aufschäumprozesse	353			
7.1.4.2	Eigenschaften von Aluminiumschäumen	354			
7.1.5	Aushärten von Aluminiumlegierungen	355			
7.1.5.1	Verfahren	356			
7.1.5.2	Innere Vorgänge	357			
7.1.6	Verarbeitung von Aluminiumwerkstoffen	359			
7.1.6.1	Gießen	359			
7.1.6.2	Umformen	359			
7.1.6.3	Zerspanen	360			
7.1.6.4	Schweißen	360			
7.2	Magnesiumwerkstoffe	361			
7.2.1	Eigenschaften des Magnesiums	361			
7.2.2	Magnesiumlegierungen	361			
7.2.2.1	Magnesium-Gusslegierungen	362			
7.2.2.2	Magnesium-Knetlegierungen	363			
7.2.3	Verarbeitung von Magnesium- legierungen	365			
7.2.3.1	Gießen von Magnesiumlegierungen	365			
7.2.3.2	Umformen von Magnesiumlegierungen	365			
7.2.4	Entwicklungstendenzen	366			
7.3	Titan und Titanlegierungen	366			
7.4	Silicium	369			
7.5	Kupferwerkstoffe	371			
7.5.1	Unlegiertes Kupfer	371			
7.5.1.1	Sauerstoffhaltiges (zähgepoltes) Kupfer	372			
7.5.1.2	Desoxidiertes Kupfer	374			
7.5.1.3	Sauerstofffreies Kupfer hoher Leitfähigkeit	374			
7.5.2	Niedriglegierte Kupferwerkstoffe	380			
7.5.3	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	382			
7.5.4	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)	384			
7.5.5	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronzen)	384			
7.5.6	Kupfer-Nickel-Legierungen	386			
7.5.7	Kupfer-Aluminium-Legierungen	387			
7.5.8	Kupfer-Mangan-Legierungen (Manganbronzen)	388			
7.5.9	Kupfer-Blei-Legierungen (Bleibronzen)	388			
7.5.10	Kupfer-Silicium-Legierungen	388			
7.6	Nickel	389			
7.6.1	Eigenschaften von Nickel	389			
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						
8.1	Stahlnormung	417	9.5.4	Duroplaste	472	
8.1.1	Stahlnormung durch Kurznamen	417	9.5.5	Elastomere	472	
8.1.1.1	Kennzeichnung der Stähle nach der Verwendung oder den mechanischen sowie physikalischen Eigenschaften	419	9.5.6	Thermoplastische Elastomere	473	
8.1.1.2	Kennzeichnung der Stähle nach der chemischen Zusammensetzung	419	9.6	Normung und Bezeichnung von Kunststoffen	474	
8.1.2	Stahlnormung durch Werkstoffnummern	425	9.6.1	Allgemeine Kennzeichnung von Kunststoffen	474	
8.2	Normung von Gusseisenwerkstoffen ..	427	9.6.1.1	Kurzzeichen für Homopolymere und chemisch modifizierte polymere Naturstoffe	474	
8.2.1	Normung durch Kurzzeichen	427	9.6.1.2	Copolymerne und Polymergemische	475	
8.2.2	Normung durch Werkstoffnummern	428	9.6.1.3	Kennzeichnung besonderer Eigenschaften	475	
8.3	Normung von Nichteisenmetallen (NE-Metalle)	429	9.6.1.4	Kennzeichnung von Zusatzstoffen	476	
8.3.1	Normung von Aluminiumwerkstoffen ..	429	9.6.2	Kennzeichnung thermoplastischer Formmassen	476	
8.3.1.1	Aluminium-Knetwerkstoffe	430	9.6.3	Kennzeichnung von Duroplasten	477	
8.3.1.2	Aluminium-Gusswerkstoffe	434	9.6.4	Kennzeichnung von Elastomeren	478	
8.3.2	Normung von Magnesiumwerkstoffen ..	435	9.7	Verarbeitung von Kunststoffen	479	
8.3.2.1	Normung von Magnesiumwerkstoffen nach DIN EN 1754	435	9.7.1	Zuschlagstoffe	479	
			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	Kalteleiter	518
9.7.3	Mechanische Bearbeitung	482	10.8.1.4	Heißleiter	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					
10.1	Einordnung keramischer Werkstoffe ..	490	10.9	Herstellungs- und Bearbeitungs- verfahren für keramische Werkstoffe ..	523
10.2	Eigenschaften keramischer Werkstoffe	490	10.9.1	Rohstoffgewinnung	525
10.2.1	Allgemeine Eigenschaften	490	10.9.2	Massenaufbereitung	525
10.2.2	Physikalische Eigenschaften	491	10.9.3	Formgebung	525
10.2.3	Mechanische Eigenschaften	492	10.9.4	Trocknen und Ausheizen	528
10.2.3.1	Festigkeit und Hochtemperaturfestigkeit	492	10.9.5	Grün- und Weißbearbeitung, Vorbrand ..	528
10.2.3.2	Härte	493	10.9.7	Endbearbeitung (Hartbearbeitung)	530
10.2.3.3	Verformbarkeit und Zähigkeit	493	10.10	Nanokeramik	530
10.2.4	Thermische Eigenschaften	494	11 Korrosion und Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe		
10.2.4.1	Wärmeausdehnung und Temperatur- wechselbeständigkeit	494	11.1	Einteilung und Übersicht	531
10.2.4.2	Wärmeleitfähigkeit	494	11.2	Elektrochemische Korrosion	531
10.2.5	Elektrische und magnetische Eigenschaften	495	11.2.1	Lösungstension	532
10.2.5.1	Elektrische Leitfähigkeit	495	11.2.2	Elektrochemische Spannungsreihe	532
10.2.5.2	Dielektrisches Verhalten	495	11.2.3	Stromdichte-Potenzial-Kurven	534
10.2.6	Chemische Eigenschaften	496	11.2.4	Wasserstoffkorrosion	535
10.3	Einteilung keramischer Werkstoffe ..	496	11.2.5	Sauerstoffkorrosion	535
10.4	Innere Struktur und Gefüge keramischer Werkstoffe	497	11.3	Rost	536
10.5	Silicatkeramische Werkstoffe	498	11.4	Erscheinungsformen der Korrosion	537
10.5.1	Technisches Porzellan	499	11.5	Korrosionsschutz	538
10.5.2	Steatit	500	11.5.1	Passiver Korrosionsschutz	539
10.5.3	Cordieritkeramik	500	11.5.1.1	Überzüge mit Metalloxiden	539
10.6	Oxidkeramische Werkstoffe	501	11.5.1.2	Überzüge mit edleren Metallen	540
10.6.1	Aluminiumoxid (Al_2O_3)	501	11.5.1.3	Überzüge mit unedleren Metallen	541
10.6.2	Zirconiumdioxid (ZrO_2)	503	11.5.1.4	Überzüge mit Nichtmetallen	541
10.6.3	Aluminiumtititanat (Al_2TiO_5)	505	11.5.2	Aktiver Korrosionsschutz	542
10.6.4	Magnesiumoxid (MgO)	507	11.5.3	Konstruktive Maßnahmen	543
10.6.5	Weitere oxidkeramische Werkstoffe	507	12 Tribologie		
10.7	Nichttoxiderkeramische Werkstoffe	507	12.1	Tribosysteme	545
10.7.1	Keramische Werkstoffe aus elementaren Stoffen	509	12.1.1	Aufbau eines Tribosystems	545
10.7.2	Metallische Hartstoffe	510	12.1.2	Funktion eines Tribosystems	546
10.7.2.1	Carbide	510	12.2	Hauptgebiete der Tribologie	546
10.7.2.2	Nitride	510	12.2.1	Reibung	546
10.7.2.3	Boride	511	12.2.1.1	Reibungsarten	547
10.7.2.4	Silicide	511	12.2.1.2	Reibungsmechanismen bei Festkörperreibung	547
10.7.3	Nichtmetallische Hartstoffe	511	12.2.1.3	Reibungszustände in geschmierten Gleitpaarungen	548
10.7.3.1	Siliciumcarbid (SiC)	511	12.2.2	Schmierung und Schmierstoffe	549
10.7.3.2	Siliciumnitrid (Si_3N_4)	514	12.2.2.1	Schmieröle	550
10.7.3.3	Bornitrid (BN)	516	12.2.2.2	Schmierfette	552
10.7.3.4	Borcarbid (B_4C)	517	12.2.2.3	Festschmierstoffe	553

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. Stahl-guss 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 Zähigkeitsprüfung	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 Erichsen	637
13.4.1.1 Versuchsdurchführung	584	13.5.2 Näpfchen-Tiefeziehprüfung nach Swift	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 Jominy	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 Kugelindruckversuch	646
		13.6.2.2 Härteprüfung nach Shore an Kunststoffen	648
		13.6.2.3 Internationaler Gummihärtegrad (IRHD)	648
		13.6.3 Charpy-Schlagversuch nach ISO	649
		Sachwortverzeichnis	651