

Elvira Moeller (Hrsg.)

# Handbuch Konstruktions- werkstoffe

Auswahl, Eigenschaften, Anwendung

HANSER

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
---------------	---

Autorenverzeichnis .....	XXIX
--------------------------	------

## I Methoden der Werkstoffauswahl

<i>Martin Reuter</i> .....	1
<b>1 Allgemeine Aspekte der Werkstoffauswahl</b> .....	7
1.1 Motivation für eine Werkstoffinnovation oder -änderung .....	7
1.1.1 Gesetze des Marktes .....	7
1.1.2 Neue Produkte .....	7
1.1.3 Qualitätsprobleme .....	8
1.1.4 Vorgaben und Vorschriften .....	8
1.1.5 Standardisierung .....	8
1.1.6 Weitere Beweggründe für eine Werkstoffänderung .....	9
1.2 Entscheidungssituationen .....	9
1.3 Komplexität von Werkstoffauswahlprozessen .....	11
<b>2 Konzepte zur Lösung von Werkstofffragen</b> .....	15
2.1 Methodik von systematischen Werkstoffauswahlprozessen .....	17
2.2 Potenziale und Grenzen der methodischen Werkstoffauswahl .....	22
<b>3 Ermittlung der Werkstoffanforderungen</b> .....	25
3.1 Wechselwirkungen mit dem Konstruktionswerkstoff .....	26
3.2 Werkstoffeigenschaften .....	29
3.3 Erstellen einer Materialanforderungsliste .....	31
3.3.1 Übersetzung der Produkt- in Werkstoffanforderungen .....	31
3.3.2 Eigenschaftsgrenzen .....	34
3.3.3 Die Materialanforderungsliste .....	36
3.4 Weitere Aspekte zur Materialanforderungsliste .....	37
3.4.1 Fertigungstechnische Materialanforderungen .....	37
3.4.2 Schadensstatistiken und Schadensfälle .....	40
3.4.3 Materialanforderungen aus Kostensicht .....	47
3.4.4 Ableitung weiterer Materialanforderungen .....	56
<b>4 Such- und Auswahlprozess</b> .....	57
4.1 Vorauswahl .....	57
4.1.1 Eigenschaften der Werkstoffgruppen .....	57
4.1.2 Kriterien der Vorauswahl .....	59
4.1.3 Werkstoffschaubilder .....	61
4.1.4 Anwendung von Designparametern und Materialindizes .....	76
4.2 Anwendung klassischer Bewertungsverfahren .....	78
4.2.1 Methoden zur Ermittlung von Gewichtungsfaktoren .....	81
4.2.2 Auswertemethoden zur Erstellung von Ranglisten .....	83

4.2.2.1	Ermittlung eines anforderungsspezifischen Kostenfaktors	84
4.2.2.2	Fortlaufende Anwendung von Materialindizes	84
4.2.2.3	Methode der gewichteten Punktebewertung	85
4.2.2.4	Einbeziehung von Grenzwerten unterschiedlicher Bewertungsrichtungen sowie von Zielwerten	87
4.2.3	Verfeinerung der Gewichtung durch Fuzzy-Logik	88
4.2.4	Zusammenfassung Bewertungsverfahren	88
4.3	Ganzheitliche Auswahlmethode nach Ashby	89
4.3.1	Materialindizes in Werkstoffschaubildern	89
4.3.2	Einbeziehung der Form	93
4.3.3	Einbeziehung des Fertigungsprozesses	95
4.3.4	Materialauswahl nach Ashby	96
4.3.5	Cambridge Engineering Selector	100
<b>5</b>	<b>Informationsbeschaffung</b>	<b>105</b>
5.1	Informationsbedarf und Datenqualität	105
5.2	Beschaffungsquellen	107
5.3	Zugangsmöglichkeiten zu Schrifttum	107
5.4	Rechnergestützte Informationssysteme	110
5.4.1	Werkstoffdatenbanken und -informationssysteme	113
5.4.1.1	Werkstoffgruppen übergreifende Informationssysteme	113
5.4.1.2	Schwerpunkt Nichteisenmetalle (gegebenenfalls mit Eisenwerkstoffen)	115
5.4.1.3	Schwerpunkt Stahl	116
5.4.1.4	Kunststoffe	118
5.4.1.5	Verbundwerkstoffe	120
5.4.1.6	Spezielle anwendungsspezifische Informationssysteme	120
5.4.2	Expertensysteme (XPS)	122
<b>6</b>	<b>Feinauswahl und Entscheidungsfindung</b>	<b>127</b>
6.1	Ausgewählte Möglichkeiten der Evaluierung und Validierung	128
6.1.1	Grundlegende Berechnungen	128
6.1.2	CAD-Systeme	129
6.1.3	FEM-Systeme und Simulationen	130
6.1.4	Design of Experiments (DOE)	132
6.1.5	Prototypen und Rapid Prototyping	134
6.2	Endgültige Materialwahl	135
<b>7</b>	<b>Zuverlässigkeitsstrukturen und Qualitätsmanagement</b>	<b>139</b>
7.1	Prozessübergreifende Werkzeuge	140
7.1.1	Quality Function Deployment	140
7.1.2	Design Reviews und Qualitätsbewertungen	141
7.1.3	Checklisten	143
7.2	Werkzeuge zur Ermittlung von Entwicklungsschwerpunkten	143
7.2.1	ABC-Analyse (Pareto-Analyse)	143
7.2.2	Kostenstrukturen	144
7.3	Werkzeuge zur Aufgabenklärung und zur Konzeptphase	144
7.3.1	Funktionsanalyse	144
7.3.2	Benchmarking	145
7.3.3	Analyse des Ausfallverhaltens	146

7.4	Risikoanalysen	147
7.4.1.1	Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA)	147
7.4.1.2	Fehlerbaumanalysen (FTA)	149
7.4.1.3	Weitere Werkzeuge der Risikoanalyse	149
8	Zusammenfassung	151
9	Weiterführende Informationen	155
<b>II</b>	<b>Metallische Konstruktionswerkstoffe</b>	<b>157</b>
1	<b>Stahl und andere Eisenwerkstoffe</b>	
	<i>Elvira Moeller</i>	159
1.1	Definitionen von Eisen und Stahl	163
1.1.1	Knetlegierungen	164
1.1.2	Gusslegierungen	164
1.2	Stahlerzeugung	164
1.2.1	Vom Erz zum Stahl	164
1.2.2	Nachbehandlung von Stahl (Sekundärmetallurgie)	169
1.2.3	Vergießen von Stahl	171
1.2.4	Wärmebehandlung von Stahl	172
1.3	Formgebung und Produktformen	174
1.4	Anwendungseigenschaften von Stählen	
	<i>Wolfgang Bleck</i>	175
1.4.1	Festigkeit von Stählen	175
1.4.2	Zähigkeit und Bruchverhalten von Stählen	177
1.5	Trennen und Fügen von Stahl	179
1.5.1	Trennen	179
1.5.2	Fügen	179
1.6	Systematik der Stähle	
	<i>Wolfgang Bleck</i>	180
1.6.1	Europäische Normung	180
1.6.2	Einteilung der Stähle nach Hauptgüteklassen	181
1.6.2.1	Unlegierte Stähle	181
1.6.2.2	Nichtrostende Stähle	182
1.6.2.3	Andere legierte Stähle	182
1.6.3	Bezeichnungssystem für Stähle	183
1.6.3.1	Bezeichnung nach Verwendungszweck sowie mechanischen und physikalischen Eigenschaften	183
1.6.3.2	Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung	184
1.6.3.3	Bezeichnung der Stähle nach Werkstoffnummern	185
1.7	Innovationen mit Stahl	185
1.7.1	Hochleistungskarosserie aus Stahl	185
1.7.2	Motorhaube aus Dünnsblech	189
1.7.3	A-Säule mit hoher Festigkeit	189
1.7.4	Integralgehäuse für Lenkgetriebe	190
1.7.5	Optimierung von Fahrwerksfedern	190
1.7.6	Leichtbauventil für Verbrennungsmotoren	191
1.7.7	Wischblatt Aerotwin	191

1.7.8	Stahlring im Autoreifen	192
1.7.9	Katalysator für Dieselfahrzeuge	192
1.7.10	Strukturen aus Stahlkugeln	193
1.7.11	Duplex-Werkstoff für den Behälterbau	193
1.7.12	Schaumsintern von Stahlpulver	195
1.7.13	Doppelhülle bei Tankern	195
1.8	Zusammenfassung und Ausblick	196
1.9	Weiterführende Informationen	196
<b>2</b>	<b>Unlegierte Stähle und legierte Stähle</b>	
	<i>Wolfgang Bleck</i>	197
2.1	Stähle für die Direktverarbeitung	201
2.1.1	Stähle für Feinblech	201
2.1.1.1	Weiche unlegierte Stähle	202
2.1.1.2	Hochfeste kaltumformbare Stähle	203
2.1.2	Stähle für allgemeine Konstruktionen (Baustähle)	207
2.1.2.1	Anforderungen an die Verwendungseigenschaften	208
2.1.2.2	Anforderungen an die Verarbeitungseigenschaften	210
2.1.2.3	Stahlsorten	211
2.1.3	Stähle für die Kalt-Massivumformung	212
2.2	Stähle für die Kalt- oder Warmumformung mit anschließender Wärmebehandlung	216
2.2.1	Stähle für eine Randschichthärtung	217
2.2.1.1	Einsatzhärten	217
2.2.1.2	Stahlsorten für die Einsatzhärtung	218
2.2.1.3	Nitrieren	218
2.2.1.4	Stahlsorten für das Nitrieren	220
2.2.2	Stähle für eine Vergütungsbehandlung	220
2.2.2.1	Anforderungen an Vergütungsstähle	221
2.2.2.2	Stahlsorten für das Vergüten	221
2.2.2.3	Prüfung der Härbarkeit	222
2.2.2.4	Berechnung der Härbarkeit	225
2.2.3	Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische (AFP) Stähle	227
2.2.4	Eigenschaften gehärteter Stähle	229
2.2.5	Federstähle	232
2.3	Stähle für besondere Anwendungen	232
2.3.1	Stähle für die Zerspanung	232
2.3.2	Stähle für Verbindungselemente	235
2.4	Anwendungsbeispiele	
	<i>Stefan Bauer, Anja Demmerath, Jörg Maffert, Mélanie Philippi, Martin Steffen, Falko Schröter, Ronny Willms</i>	239
2.4.1	Kreuzfahrtschiff Queen Mary II	239
2.4.2	Long Lake Project – Ölsandgewinnung in Kanada	240
2.4.3	Reaktoren und Separatoren für eine Raffinerie in Louisiana	240
2.4.4	Hochdruckabscheider für eine Gas-Öl-Trennanlage in Saudi-Arabien	241
2.4.5	Gasspeicheranlage in Großbritannien	242
2.4.6	Unterwasser-Pipeline für Gastransport	243
2.4.7	Offshore-Windräder in Dänemark	244
2.4.8	Wasserkraftwerk in China	245
2.4.9	Tunnelbohrmaschine	245

2.4.10	Viadukt von Millau	246
2.4.11	Rheinbrücke Ilverich	247
2.4.12	LTU-Arena in Düsseldorf	248
2.4.13	Sony-Center in Berlin	249
2.5	Weiterführende Informationen	250
<b>3</b>	<b>Hochlegierte Stähle – Nichtrostende und hitzebeständige Stähle</b>	
	<i>Winfried Heimann</i>	251
3.1	Einleitung	255
3.1.1	Einteilung der nichtrostenden und hitzebeständigen Stähle	255
3.1.2	Abhängigkeit der Gefügeart von den Legierungselementen	255
3.1.3	Einstellung des Gefüges durch Wärmebehandlung	257
3.1.4	Nichtrostende ferritische Stähle	258
3.1.5	Nichtrostende martensitische Stähle	259
3.1.6	Nichtrostende austenitische Stähle	260
3.1.7	Nichtrostende ferritisch-austenitische Stähle	261
3.1.8	Hitzebeständige ferritische Stähle	262
3.1.9	Hitzebeständige austenitische Stähle	262
3.2	Eigenschaften von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen	263
3.2.1	Mechanische Eigenschaften	263
3.2.1.1	Nichtrostende ferritische Stähle	263
3.2.1.2	Nichtrostende martensitische Stähle	264
3.2.1.3	Nickelmartensitische Stähle	264
3.2.1.4	Ausscheidungshärtbarer nickelmartensitischer Stahl	265
3.2.1.5	Nichtrostende austenitische Stähle	265
3.2.1.6	Nichtrostende ferritisch-austenitische Stähle	269
3.2.1.7	Hitzebeständige ferritische und austenitische Stähle	270
3.2.2	Physikalische Eigenschaften	272
3.2.3	Chemische Eigenschaften	274
3.3	Verarbeitung von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen	277
3.3.1	Be- und Verarbeitung	277
3.3.2	Fügeverfahren	278
3.3.3	Oberflächenveredlung	279
3.4	Gebrauchseigenschaften	280
3.4.1	Nichtrostende Stähle	280
3.4.2	Hitzebeständige Stähle	282
3.5	Beispielhafte Anwendungen	282
3.5.1	Nichtrostende Stähle im Bauwesen	282
3.5.2	Nichtrostende Stähle im Chemikalienankerbau	284
3.5.3	Nichtrostende Stähle in der Meerwasserentsalzung	284
3.5.4	Nichtrostende Stähle in der Rauchgasentschwefelung	285
3.5.5	Nichtrostende Stähle im Kraftfahrzeugbau	286
3.5.6	Nichtrostende Stähle in der Öl- und Gasförderung	287
3.6	Zusammenfassung	288
3.7	Weiterführende Informationen	288

<b>4</b>	<b>Werkzeugstähle</b>	
	<i>Hans-Joachim Wieland, Ingrid Jung, Gernot Strehl, Peter Vetter</i>	291
4.1	Einleitung	293
4.2	Kaltarbeitsstähle	293
4.3	Warmarbeitsstähle	296
4.4	Kunststoffformenstähle	298
4.5	Schnellarbeitsstähle	301
4.6	Weiterführende Informationen	303
<b>5</b>	<b>Aluminium und seine Legierungen</b>	
	<i>Werner Mader und Wolfgang Heidrich</i>	305
5.1	Aluminium als Metall	307
5.2	Aluminiumlegierungen	308
5.2.1	Eigenschaften von Aluminiumlegierungen	308
5.2.1.1	Physikalische Eigenschaften	308
5.2.1.2	Mechanische Eigenschaften	309
5.2.2	Unterteilung und Nomenklatur der Aluminium-Werkstoffe	311
5.2.3	Aluminium-Knetlegierungen	311
5.2.4	Aluminium-Gusslegierungen	313
5.3	Beschreibung der einzelnen Gruppen von Aluminiumlegierungen	318
5.3.1	Nicht aushärtbare Legierungen	318
5.3.2	Aushärtbare Legierungen	319
5.3.3	Legierungen für spezielle Anwendungen	320
5.4	Aluminiumerzeugnisse und Lieferformen	321
5.4.1	Hüttenaluminium	321
5.4.2	Sekundäraluminium	322
5.4.3	Aluminiumhalbzeug	323
5.5	Verarbeitung und Bearbeitung von Aluminium-Werkstoffen	325
5.5.1	Urformen	325
5.5.2	Umformen	326
5.5.3	Fügen von Aluminiumwerkstoffen	327
5.5.3.1	Mechanische Fügeverfahren	327
5.5.3.2	Thermische Fügeverfahren	330
5.5.4	Oberflächenbehandlung	332
5.5.4.1	Mechanische Oberflächenvorbehandlung	332
5.5.4.2	Chemische Oberflächenvorbehandlung	332
5.6	Anwendung von Aluminiumwerkstoffen	334
5.7	Zusammenfassung und Ausblick	336
5.8	Weiterführende Informationen	336
<b>6</b>	<b>Magnesium und seine Legierungen</b>	
	<i>Peter Kurze und Michael Walter</i>	339
6.1	Magnesium als reines Metall	341
6.2	Magnesiumlegierungen	343
6.2.1	Einteilung und Nomenklatur von Magnesiumlegierungen	343
6.2.2	Einfluss der Legierungselemente	344
6.3	Eigenschaften von Magnesiumlegierungen	344
6.3.1	Mechanische Eigenschaften	344

6.3.2	Physikalische Eigenschaften	347
6.3.3	Chemische Eigenschaften	348
6.4	Korrosion und Korrosionsschutz	351
6.4.1	Korrosion	351
6.4.2	Korrosionsschutz	352
6.4.2.1	Zusatz von ausgewählten Legierungselementen	352
6.4.2.2	Oberflächenbehandlung von Magnesiumwerkstoffen	352
6.5	Verarbeitung und Bearbeitung von Magnesiumlegierungen	355
6.5.1	Urformen	355
6.5.2	Umformen	356
6.5.3	Fügen von Magnesiumlegierungen	357
6.6	Anwendung von Magnesiumlegierungen	358
6.6.1	Automobilbau	358
6.6.2	Kommunikationstechnik	359
6.6.3	Elektronik	360
6.6.4	Drucktechnik	361
6.6.5	Maschinenbau	361
6.6.6	Raumfahrt	362
6.7	Weiterführende Informationen	362
<b>7</b>	<b>Kupfer und seine Legierungen</b>	
	<i>Ladji Tikana und Anton Klassert</i>	365
7.1	Kupfer-Legierungen	367
7.1.1	Unterteilung und Kennzeichnung	367
7.1.2	Kupferknetwerkstoffe	368
7.1.2.2	Niedriglegierte Kupfer-Knetlegierungen	369
7.1.2.3	Kupfer-Zink- und Kupfer-Zink-Blei-Knetlegierungen	369
7.1.2.4	Kupfer-Zinn-Knetlegierungen	372
7.1.2.5	Kupfer-Nickel-Knetlegierungen	372
7.1.2.6	Kupfer-Nickel-Zink-Knetlegierungen	374
7.1.2.7	Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen	374
7.1.3	Kupfergusswerkstoffe	375
7.1.3.1	Gusskupfer und Kupfer-Chrom-Gusslegierung	375
7.1.3.2	Kupfer-Zink-Gusslegierungen	376
7.1.3.3	Kupfer-Zinn-Gusslegierungen	376
7.1.3.4	Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen	376
7.1.3.5	Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen	377
7.1.3.6	Kupfer-Mangan-Aluminium- und Kupfer-Nickel-Gusslegierungen	378
7.2	Eigenschaften von Kupferwerkstoffen	380
7.2.1	Mechanisch-technologische Eigenschaften	380
7.2.1.1	Festigkeitswerte bei Raumtemperatur	381
7.2.1.2	Warmfestigkeit und Kriechverhalten	387
7.2.1.3	Verhalten bei tiefen Temperaturen	388
7.2.1.4	Feder-Relaxationsverhalten sowie Biegbarkeit	388
7.2.1.5	Verhalten bei zyklischer Beanspruchung	389
7.2.2	Physikalische Eigenschaften	391
7.2.3	Chemische Eigenschaften und Korrosionsverhalten	391



7.3	Verarbeitung und Bearbeitung von Kupferwerkstoffen	396
7.3.1	Mechanische Bearbeitung	396
7.3.2	Andere Bearbeitungsverfahren	396
7.3.3	Fügen von Kupferwerkstoffen	397
7.3.3.1	Löten	397
7.3.3.2	Schweißen	398
7.3.3.3	Andere Verbindungsverfahren	399
7.3.4	Wärmebehandlung	399
7.3.5	Oberflächenvorbehandlung	401
7.4	Gebrauchseigenschaften und Umweltverhalten	402
7.5	Beispielhafte Anwendungen	403
7.5.1	Elektrotechnik und Elektronik	403
7.5.2	Bauindustrie und Sanitärtechnik	403
7.5.3	Maschinen- und Apparatebau	404
7.5.4	Lageranwendungen	404
7.5.5	Chemische Industrie und Nahrungsmittelindustrie	404
7.5.6	Schienen-, Straßen-, Wasser- und Luftfahrzeugbau	406
7.5.7	Kälte- und Klimatechnik	406
7.5.8	Feinmechanik, Geräte- und Instrumentenbau	406
7.5.9	Schmuck- und Metallwaren sowie andere Anwendungen	407
7.6	Zusammenfassung	407
7.7	Weiterführende Informationen	407
<b>8</b>	<b>Nickel und seine Legierungen</b>	
	<i>Ulrich Heubner</i>	409
8.1	Nickel als reines Metall	413
8.2	Nickellegierungen	413
8.2.1	Anwendung von Nickellegierungen und ihre Verteilung	413
8.2.2	Nickellegierungen als Konstruktionswerkstoffe	414
8.3	Eigenschaften von Nickellegierungen	417
8.3.1	Mechanische Eigenschaften	417
8.3.2	Physikalische Eigenschaften	422
8.3.3	Chemische Eigenschaften	422
8.4	Verarbeitung von Nickellegierungen	425
8.4.1	Be- und Verarbeitung	425
8.4.2	Fügeverfahren	425
8.4.3	Oberflächenveredelung	427
8.5	Gebrauchseigenschaften	427
8.5.1	Nickellegierungen für die Handhabung aggressiver korrosiver Medien unter Nasskorrosionsbedingungen	427
8.5.1.1	Unlegiertes Nickel	427
8.5.1.2	Nickel-Kupfer-Legierungen	428
8.5.1.3	Nickel-Molybdän-Legierungen	428
8.5.1.4	Nickel-Chrom-Eisen-Legierungen	429
8.5.1.5	Nickel-Chrom-Molybdän-Legierungen	429
8.5.1.6	Nickel-Chrom-Eisen-Molybdän-Kupfer-Legierungen	432
8.5.1.7	Aushärtbare Nickel-Chrom-Eisen-Molybdän(-Kupfer)-Legierungen	432

8.5.2	Nickellegierungen für die korrosive Beanspruchung durch heiße Gase und Verbrennungsprodukte – hitzebeständige Nickelwerkstoffe	433
8.5.3	Nickellegierungen für mechanische Beanspruchung bei sehr hohen Temperaturen – hochwarmfeste Nickelwerkstoffe	434
8.6	Beispielhafte Anwendungen	435
8.6.1	Anwendung in der chemischen Prozesstechnik	436
8.6.1.1	Anlagen zur Herstellung von Phosphor- und Superphosphorsäure und von Phosphatdüngemitteln	436
8.6.1.2	Anlagen zur Salzerzeugung	436
8.6.1.3	Anlagen zur Herstellung von Chlor und Ätznatron	436
8.6.1.4	Anlagen zur Herstellung von Vinylchlorid	437
8.6.1.5	Anlagen zur Mineralgewinnung	437
8.6.1.6	Anlagen in der Papier- und Zellstoffindustrie	438
8.6.1.7	Anlagen zur Synthese organischer Verbindungen	438
8.6.1.8	Raffinerien	438
8.6.2	Anwendung im Industrieofenbau	438
8.6.2.1	Öfen mit oxidierenden Atmosphären	439
8.6.2.2	Öfen mit aufkohlenden Atmosphären	439
8.6.2.3	Öfen mit nitrierenden Atmosphären	440
8.6.2.4	Öfen mit halogenierenden Atmosphären	440
8.6.2.5	Öfen mit sulfidierenden Atmosphären	440
8.6.3	Anwendung in der Energietechnik	441
8.6.3.1	Dampferzeuger	441
8.6.3.2	Kraftwerksgasturbinen	441
8.6.4	Anwendung in der Umwelttechnik	441
8.6.4.1	Rauchgasentschwefelungsanlagen	441
8.6.4.2	Müllverbrennungsanlagen	441
8.6.4.3	Abwasseraufbereitungsanlagen	443
8.6.5	Anwendung bei der Öl- und Gasgewinnung und in der Meerestechnik	443
8.6.5.1	Anlagen zur Förderung von Sauggas und schwefelhaltigem Rohöl	443
8.6.5.2	Anlagen der Meerestechnik	444
8.6.6	Anwendung in der Automobilindustrie	444
8.6.6.1	Zündkerzen und Glühkerzen	444
8.6.6.2	Ventilstangen	444
8.6.6.3	Abgaskatalysatoren	444
8.6.7	Anwendung in der Luft- und Raumfahrt	445
8.7	Zusammenfassung	445
8.8	Weiterführende Informationen	445
9	<b>Titan und seine Legierungen</b>	
	<i>Heinz Sibum</i>	447
9.1	Titan als reines Metall	451
9.2	Einteilung der Titanwerkstoffe	451
9.2.1	Reintitan	451
9.2.2	Titanlegierungen	452
9.2.3	Eigenschaften von Titanlegierungen	453
9.2.4	Konsequenzen für eine werkstoffgerechte und kosteneffektive Konstruktion	457
9.3	Be- und Verarbeitung von Titanwerkstoffen	460
9.3.1	Wärmebehandlung	460

9.3.2	Fügen	462
9.3.2.1	Thermisches Fügen	462
9.3.2.2	Mechanisches Fügen	464
9.3.2.3	Chemisches Fügen	465
9.3.3	Spanende Bearbeitung	465
9.3.4	Trennen, Stanzen, Lochen und Abtragen	466
9.3.5	Umformen	466
9.3.5.1	Warmumformen	466
9.3.5.2	Kaltumformen	467
9.3.6	Oberflächenbearbeitung	467
9.3.6.1	Dekorative Schichten	467
9.3.6.2	Verschleißschutzschichten	468
9.3.6.3	Festigkeitsstrahlen	468
9.3.7	Sicherheitsaspekte	468
9.3.8	Recycling	469
9.4	Halbzeugherstellung und Halbzeugformen	469
9.5	Anwendungsbeispiele	470
9.5.1	Luft- und Raumfahrt	471
9.5.2	Chemische Industrie, Lebensmittel- und Arzneimitteltechnik	471
9.5.3	Elektrotechnik, Energieerzeugung und -speicherung	472
9.5.4	Meeres-, Wasser-, Offshore-Technik	473
9.5.5	Medizintechnik	473
9.5.6	Automobilindustrie	473
9.5.7	Verkehrstechnik	474
9.5.8	Maschinenbau	474
9.5.9	Bauwesen	474
9.5.10	Personenschutz	475
9.6	Zusammenfassung und Ausblick	475
9.7	Weiterführende Informationen	475
<b>10</b>	<b>Zink und seine Legierungen</b>	
	<i>Kurt G. Grün, Sabina Grund und Patrick Piel</i>	479
10.1	Einleitung	481
10.2	Zinkdruckgusslegierungen	481
10.3	Eigenschaften von Zinkdruckgusslegierungen	482
10.3.1	Mechanische Eigenschaften	482
10.3.2	Physikalische Eigenschaften	485
10.3.3	Chemische Eigenschaften	485
10.4	Bearbeitung und Verarbeitung von Zinkdruckgussteilen	486
10.4.1	Füge- und Verbindungsverfahren	486
10.4.2	Oberflächenveredelung	486
10.5	Beispielhafte Anwendungen	486
10.5.1	Automobilbereich	486
10.5.2	Bau- und Möbelindustrie	487
10.5.3	Maschinen- und Apparatebau	487
10.5.4	Elektrotechnik und Elektronik	487
10.6	Weiterführende Informationen	488

<b>11</b>	<b>Tantal und seine Legierungen</b>	
	<i>Georg Raab</i>	489
11.1	Tantal als reines Metall	491
11.2	Tantalwerkstoffe	491
11.2.1	Mechanische und physikalische Eigenschaften	491
11.2.2	Chemische Eigenschaften	494
11.3	Be- und Verarbeitung von Tantalwerkstoffen	496
11.4	Gebrauchseigenschaften	497
11.5	Beispielhafte Anwendungen	497
11.6	Weiterführende Informationen	501
<b>12</b>	<b>Edelmetalle und ihre Legierungen</b>	
	<i>David Lupton</i>	503
12.1	Einleitung	505
12.2	Edelmetallwerkstoffe	505
12.2.1	Allgemeines	505
12.2.2	Reines Platin und dispersionsgehärtetes Platin	506
12.2.3	Platin-Rhodium-Legierungen	506
12.2.4	Platin-Iridium-Legierungen	506
12.2.5	PGM-Superlegierungen	506
12.2.6	Iridium	507
12.3	Eigenschaften der Edelmetallwerkstoffe	507
12.3.1	Mechanische Eigenschaften	507
12.3.2	Chemische Eigenschaften	511
12.4	Verarbeitung von Edelmetallwerkstoffen	512
12.5	Beispielhafte Anwendungen	513
12.5.1	Allgemeines	513
12.5.2	Platin in der Glasindustrie	513
12.5.3	Platin und Iridium für die Einkristallzüchtung	515
12.5.4	Platin- und Iridiumwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrt	516
12.6	Weiterführende Informationen	518
<b>III</b>	<b>Nicht-metallische Konstruktionswerkstoffe</b>	519
<b>1</b>	<b>Kunststoffe</b>	
	<i>Christian Bonten</i>	521
1.1	Entwicklung und Begriffe	525
1.2	Aufbau und Herstellung von Kunststoffen	527
1.2.1	Bindungsarten in Makromolekülen	527
1.2.2	Mechanismen der Bildung von Polymeren	528
1.2.3	Herstellung von Kunststoffen	531
1.2.4	Eigenschaften der Polymerschmelzen	531
1.2.5	Übergang von der Schmelze zum Feststoff	532
1.3	Eigenschaften von Kunststoffen	533
1.3.1	Mechanische Eigenschaften	533
1.3.2	Optische Eigenschaften	540
1.3.3	Akustische Eigenschaften	540
1.3.4	Elektrische Eigenschaften	541

1.3.5	Thermische Eigenschaften	541
1.3.6	Diffusionseigenschaften	541
1.3.7	Weitere Eigenschaften	541
1.3.8	Einflüsse auf die Eigenschaften	541
1.3.8.1	Innere Einflüsse auf die Eigenschaften	542
1.3.8.2	Äußere Einflüsse auf die Eigenschaften	545
1.3.8.3	Beeinflussung durch Zuschlagstoffe	546
1.4	Technologie der Kunststoffe	549
1.4.1	Verfahren zur Herstellung von Prototypen und kleinen Serien	549
1.4.1.1	Handlaminieren, Faserspritzen und Abkanten	549
1.4.1.2	Verfahren des Rapid Prototyping	550
1.4.1.3	Verfahren des Rapid Toolings	554
1.4.1.4	Tiefziehen und Thermoformen	557
1.4.2	Verfahren zur Serienfertigung	558
1.4.2.1	Spritzgießen	558
1.4.2.2	Pressen	561
1.4.2.3	Blasformen	562
1.4.2.4	Polyurethan-Gießen	562
1.4.3	Fügen von Kunststoffen	564
1.4.3.1	Schweißen	564
1.4.3.2	Kleben	569
1.4.3.3	Schrauben und Nieten	571
1.5	Anwendungsbeispiele für verschiedene Produktgeometrien	572
1.5.1	Großflächige Produkte	573
1.5.2	Gehäuseartige Produkte	574
1.5.3	Behälterartige Produkte	574
1.5.4	Komplexe Produkte	574
1.5.5	Funktionsspezifische Produkte	575
1.6	Beschreibung der Kunststoffe in Form von Steckbriefen	576
	Übersicht der Steckbriefe	578
1.7	Weiterführende Informationen	611
<b>2</b>	<b>Keramische Werkstoffe</b>	
	<i>Hans Hoppert</i>	613
2.1	Werkstoffe der Technischen Keramik	617
2.1.1	Entwicklung, Definition und Begriffe	617
2.1.2	Silikatkeramik	619
2.1.3	Oxidkeramik	620
2.1.3.1	Aluminiumoxid	620
2.1.3.2	Zirkoniumoxid	622
2.1.3.3	Oxidische Mehrstoffsysteme	623
2.1.4	Nichtoxidkeramik	623
2.1.4.1	Kohlenstoff	623
2.1.4.2	Carbide und Nitride	624
2.2	Eigenschaften der Technischen Keramik	626
2.2.1	Chemische Bindung und Kristallstruktur	626
2.2.1.1	Metallbindung	626
2.2.1.2	Ionenbindung	627

2.2.1.3	Atombindung	627
2.2.1.4	Molekülbindung	627
2.2.1.5	Ideale Kristalle und reale Strukturen	628
2.2.2	Das keramische Gefüge	630
2.2.2.1	Relative Dichte und Porosität	631
2.2.2.2	Phasenverteilung und Korngröße	632
2.3	Keramische Technologie	632
2.3.1	Keramische Grundoperationen	632
2.3.1.1	Formgebung	633
2.3.1.2	Sintern	634
2.3.1.3	Sintertechnik und ihre Problematik	636
2.3.1.4	Mechanische Bearbeitung	637
2.3.2	Gefügeverstärkung	638
2.3.2.1	Verstärkung durch Platelets	638
2.3.2.2	Verstärkung durch Whisker	639
2.3.2.3	Verstärkung durch Langfasern	639
2.3.2.4	Umwandlungsverstärkung	639
2.3.2.5	MMC-Werkstoffe	639
2.3.3	Fügetechnik	640
2.3.4	Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Technologie	641
2.4	Anwendungstechnische Eigenschaften keramischer Werkstoffe	643
2.4.1	Dichte und Porosität	643
2.4.2	Mechanische Eigenschaften	644
2.4.2.1	Festigkeit	645
2.4.2.2	Elastizität	647
2.4.2.3	Härte	648
2.4.3	Thermische Eigenschaften	649
2.4.3.1	Thermische Ausdehnung	649
2.4.3.2	Wärmeleitfähigkeit	649
2.4.3.3	Spezifische Wärme	650
2.4.3.4	Temperaturwechselbeständigkeit (TWB)	650
2.4.3.5	Thermische Festigkeit	651
2.4.3.6	Kriechen	652
2.4.4	Elektrische Eigenschaften	652
2.4.5	Chemische Eigenschaften	652
2.4.6	Optische Eigenschaften	653
2.5	Eigenschaften keramischer Werkstoffe im System	653
2.5.1	Verschleiß	653
2.5.1.1	Abrasivverschleiß	655
2.5.1.2	Erosivverschleiß	657
2.5.1.3	Keramische Werkstoffe im Verschleißschutz	658
2.5.2	Korrosion	659
2.5.2.1	Korrosionsmechanismen	660
2.5.2.2	Korrosionsarten	661
2.5.2.3	Bestimmung der Korrosionsfestigkeit	663
2.5.2.4	Keramische Werkstoffe als Korrosionsschutz	664
2.5.3	Systemanalyse	664
2.5.4	Konstruieren mit Keramik	665

2.6	<b>Anwendungs- und Innovationspotenzial der Technischen Keramik</b>	667
2.6.1	Hochtemperaturtechnik	668
2.6.1.1	Konventionelle Feuerfestwerkstoffe	668
2.6.1.2	Konstruktionskeramik in der Hochtemperaturtechnik	669
2.6.2	Keramische Auskleidungen für den Verschleißschutz im Anlagenbau	671
2.6.3	Anlagen für die Aufbereitungs- und Prozesstechnik	675
2.6.3.1	Brechen und Mahlen	675
2.6.3.2	Klassieren	677
2.6.3.3	Mischen und Rühren	678
2.6.3.4	Fördertechnik	678
2.6.4	Keramik im Maschinenbau	680
2.6.4.1	Keramische Dichtungen	680
2.6.4.2	Keramische Lager	682
2.6.4.3	Dosieren und Regeln	683
2.6.4.4	Keramik in der Papier- und Textilindustrie	684
2.6.5	Metallurgie und Metallbearbeitung	686
2.6.5.1	Gießtechnik	686
2.6.5.2	Umformtechnik	687
2.6.5.3	Zerspanungstechnik	687
2.6.6	Keramik in der chemischen Prozesstechnik und im Umweltschutz	688
2.6.7	Keramik im Automobil – Vision oder Wirklichkeit	689
2.6.8	Keramik im ballistischen Schutz	690
2.6.9	Biokeramiken für medizinische Anwendungen	693
2.6.10	Sonstige Anwendungen	694
2.7	Zusammenfassung und Ausblick	695
2.8	Weiterführende Informationen	696
<b>3</b>	<b>Glas als Konstruktionswerkstoff</b>	
	<i>Elvira Moeller</i>	699
3.1	Charakterisierung von Glas	701
3.1.1	Chemische Zusammensetzung von Glas	701
3.1.2	Herstellung von Glas	701
3.1.3	Glasprodukte	702
3.1.4	Definition von Flachglasprodukten	702
3.2	Eigenschaften von Flachglas	703
3.3	Flachglas-Produkte	704
3.3.1	Isolierglas	704
3.3.1.1	Wärmedämm-Isolierglas	705
3.3.1.2	Sonnenschutzglas	708
3.3.1.3	Schallschutz-Isolierglas	709
3.3.2	Sicherheitsglas	711
3.3.2.1	Einscheibensicherheitsglas	711
3.3.2.2	Verbundsicherheitsglas	712
3.3.2.3	Brandschutzglas	712
3.3.2.4	Drahtglas	713
3.4	Konstruieren mit Glas	713
3.4.1	Structural Glazing	713
3.4.2	Punkthaltesystem	714

3.5	Beispielhafte Anwendungen	714
3.5.1	Glasanbau an Kavaliershhaus	714
3.5.2	Hotel „Blue Heaven“ in Frankfurt-Bockenheim	715
3.5.3	Gläserne Manufaktur in Dresden	715
3.5.4	Paper Technology Center der Firma Voith in Heidenheim	716
3.5.5	Ski-Lounge Serfaus	717
3.5.6	Glas Trösch Bützberg	718
3.5.7	Domschatzkammer Köln	718
3.5.8	Rupertus Therme Bad Reichenhall	719
3.5.9	Walterboscomplex in Apeldoorn	720
3.5.10	Zentrum Paul Klee in Bern	721
3.6	Zusammenfassung und Ausblick	722
3.7	Weiterführende Informationen	722

## IV Verbundwerkstoffe

1	Polymere Verbundwerkstoffe	
	<i>Elvira Moeller</i>	727
1.1	Das Prinzip faserverstärkter Kunststoffe	729
1.2	Material und Eigenschaften der Fasern	730
1.2.1	Glasfasern	730
1.2.2	Aramidfasern	731
1.2.3	Kohlenstofffasern	732
1.2.4	Fasern im Vergleich	733
1.3	Aufgabe und Eigenschaften der Matrix	734
1.3.1	Arten der Matrix	734
1.3.2	Härtung der Kunststoffe	736
1.4	Herstellung und Verarbeitung von Verbundwerkstoffen	737
1.4.1	Textiles Halbzeug	737
1.4.2	Fertigungstechniken für Verbunde	740
1.5	Eigenschaften von faserverstärkten Kunststoffen	741
1.5.1	Fasern im Verbund	741
1.5.2	Haftung zwischen Matrix und Faser	742
1.5.3	Einfluss auf Festigkeit und Steifigkeit	743
1.6	Anwendungsbeispiele für faserverstärkte Kunststoffe	746
1.6.1	Welcome Wall	746
1.6.2	Kugel Radom Nippon Antenna	747
1.6.3	Solarkonzentratoren Mero	748
1.6.4	Bauteil in der Medizintechnik	748
1.6.5	Bauteil für die Automatisierungstechnik	749
1.6.6	Eyecatcher Gebäude in Basel	749
1.6.7	Allgemeine Anwendung im Automobilbau	750
1.7	Zusammenfassung und Ausblick	751
1.8	Weiterführende Informationen	751



<b>2</b>	<b>Keramische Verbundwerkstoffe</b>	
	<i>Walter Krenkel</i>	753
2.1	Einleitung	755
2.2	Herstellungsverfahren für CMC-Werkstoffe	756
2.2.1	CVI-Verfahren (Chemical Vapour Infiltration)	757
2.2.2	LPI-Verfahren (Liquid Polymer Infiltration)	758
2.2.3	LSI-Verfahren (Liquid Silicon Infiltration)	758
2.2.4	Schlickerverfahren	759
2.3	Eigenschaften der CMC-Werkstoffe	760
2.4	Anwendungsbeispiele	764
2.5	Zusammenfassung und Ausblick	768
2.6	Weiterführende Informationen	768
<b>3</b>	<b>Metallische Verbundwerkstoffe</b>	
	<i>Olivier Beffort</i>	771
3.1	Einleitung	773
3.2	Herstellungsverfahren für MMC-Werkstoffe	773
3.2.1	Einrühren von Keramik-Partikeln	773
3.2.2	Infiltration von Preforms	774
3.2.3	Pulvermetallurgie	774
3.3	Eigenschaften der MMC-Werkstoffe	774
3.3.1	Elastizitätsmodul (E-Modul)	775
3.3.2	Festigkeit	776
3.3.3	Wärmeausdehnung	777
3.3.4	Wärmeleitfähigkeit	778
3.4	Auswahlkriterien für MMC	779
3.4.1	Partikel verstärkte MMC (PRM)	779
3.4.2	Kurzfaser verstärkte MMC (SFRM)	780
3.4.3	Langfaser verstärkte MMC (CFRM)	780
3.4.4	Selektion von MMC nach dem Ansatz von Ashby	781
3.5	Anwendungsbeispiele für MMC	782
3.5.1	Strukturelle Anwendungen	782
3.5.2	Funktionelle Anwendungen	783
3.5.3	Tribo- und verschleißtechnische Anwendungen	785
3.6	Zusammenfassung und Ausblick	788
3.7	Weiterführende Informationen	788
<b>V</b>	<b>Werkstoffübergreifende Technologien</b>	791
<b>1</b>	<b>Pulvermetallurgie</b>	
	<i>Frank Baumgärtner</i>	793
1.1	Bedeutung der Pulvermetallurgie und Einteilung der Werkstoffe	797
1.2	Herstellung der Sinterpulver	801
1.3	Eigenschaften der Sinterpulver	803
1.3.1	Physikalische Eigenschaften	803
1.3.1.1	Spezifische Oberfläche	803
1.3.1.2	Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung	804
1.3.1.3	Teilchenform	804

1.3.1.4	Härte	804
1.3.2	Technologische Eigenschaften	805
1.4	Formgebung und Sinterung	806
1.4.1	Möglichkeiten der Formgebung	806
1.4.1.1	Schüttsinterung (Gravity Sintering)	807
1.4.1.2	Axiale Presstechnik	807
1.4.1.3	Warmpresstechnik (Warm Compaction)	809
1.4.1.4	Kaltisostatische Presstechnik	810
1.4.1.5	Pulvermetallurgisches Spritzgießen (Metal Injection Molding)	812
1.4.1.6	Pulverwalzen	814
1.4.1.7	Schlickergießen	814
1.4.2	Verfahren der Sinterung	814
1.4.2.1	Phänomenologie der Sintertechnik	814
1.4.2.2	Sinteratmosphären	815
1.4.3	Verfahren unter Anwendung von Druck und Temperatur	815
1.4.3.1	Pulverschmieden	815
1.4.3.2	Heißisostatisches Pressen	816
1.4.3.3	Strangpressen	816
1.4.3.4	Sprühkompaktieren	816
1.4.3.5	Hochgeschwindigkeitsverdichten	816
1.4.4	Nachbearbeitung der Formkörper	817
1.4.4.1	Kalibrieren	817
1.4.4.2	Spanende Bearbeitung	817
1.4.4.3	Infiltration und Imprägnation	818
1.4.4.4	Metallische Überzüge	818
1.4.4.5	Beschichtungen aus der Gasphase	818
1.4.4.6	Randschichtverfestigung	818
1.4.4.7	Oberflächenumschmelzen	819
1.4.4.8	Wärmebehandlung	819
1.4.5	Fügen von Sintereisen und Sinterstahl	820
1.5	Eigenschaften von Sinterwerkstoffen	820
1.5.1	Ausbildung der Werkstoffeigenschaften	820
1.5.2	Ausbildung der Oberfläche	821
1.5.3	Erzielbare Toleranzen	822
1.5.4	Festigkeitseigenschaften	823
1.6	Beispielhafte Anwendungen von Sinterwerkstoffen	830
1.6.1	Sinterfilter	830
1.6.2	Sintergleitlager	831
1.6.3	Axial gepresste Formteile	832
1.6.4	Friktionswerkstoffe	835
1.6.5	MIM-Bauteile	836
1.6.5.1	Niedriglegierte FeNiCr-Stähle	837
1.6.5.2	Säure- und laugenbeständiger Stahl	837
1.6.5.3	Hitzebeständiger Stahl	838
1.6.5.4	Verschleißbeständiger Stahl	839
1.6.5.5	Weichmagnetischer FeSi-Werkstoff	839
1.6.5.6	Hochwarmfeste Ni-Basislegierung	839
1.6.5.7	Hartmetalle	840

1.7	Zusammenfassung und Ausblick	841
1.8	Weiterführende Informationen	842
<b>2</b>	<b>Nanotechnologie</b>	
	<i>Stefan Reschke</i>	843
2.1	Einführung	845
2.2	Nanobasierte Funktionalitäten	846
2.2.1	Mechanische Funktionalitäten	846
2.2.2	Geometrische Funktionalitäten	846
2.2.3	Elektrische Funktionalitäten	847
2.2.4	Magnetische Funktionalitäten	847
2.2.5	Optische Funktionalitäten	848
2.2.6	Chemische Funktionalitäten	849
2.2.7	Biologische Funktionalitäten	849
2.3	Nanoskalige Basisstrukturen	850
2.3.1	Punktförmige Strukturen	850
2.3.2	Linienförmige Strukturen	853
2.3.3	Schichtstrukturen	854
2.3.4	Porenstrukturen	855
2.3.5	Komplexe Strukturen	856
2.4	Nanoskalige Stoffe und Werkstoffe	857
2.4.1	Keramik	858
2.4.2	Oxidgläser und Glaskeramik	860
2.4.3	Synthetische Polymere	861
2.4.4	Metalle	864
2.4.5	Halbleiterwerkstoffe	865
2.4.6	Neue nanoskalige Konfigurationen	866
2.5	Oberflächenfunktionalisierung	871
2.5.1	Mechanische Eigenschaften	871
2.5.2	Thermische und chemische Schutzschichten	873
2.5.3	Benetzungsverhalten	874
2.5.4	Optische Eigenschaften	875
2.5.5	Elektrische Eigenschaften	875
2.5.6	Biozide Beschichtungen	876
2.5.7	Beschichtungsstoffe und Klebstoffe	876
2.6	Ausblick	878
2.7	Weiterführende Informationen	878
<b>3</b>	<b>Recycling</b>	
	<i>Hans Martens</i>	879
3.1	Zielstellung für das Recycling	883
3.2	Technische Grundlagen des Recyclings von Konstruktionswerkstoffen	884
3.3	Auftrennung von Werkstoffverbindungen und Sortierung der Werkstoffe	885
3.3.1	Demontage	885
3.3.2	Aufschlusszerkleinerung	885
3.3.3	Sortierung von Werkstoffen	886
3.3.4	Physikalische, chemische und thermische Verfahren der Werkstofftrennung oder Altstoffvorbehandlung	890

3.4	Recycling von metallischen Werkstoffen	891
3.4.1	Allgemeine Verfahrenstechnik des Metallrecyclings	891
3.4.1.1	Reinigung von Metallschmelzen	891
3.4.1.2	Bildung und Funktion von Schlacken	893
3.4.1.3	Abgase und Flugstäube	893
3.4.2	Recycling von Eisenwerkstoffen	893
3.4.2.1	Stahlerzeugung aus Schrotten	893
3.4.2.2	Schrottverarbeitung zu Eisengusswerkstoffen	895
3.4.2.3	Allgemeine Anforderungen an Stahl- und Eisengusschrotte	895
3.4.3	Recycling von Aluminium- und Magnesiumwerkstoffen	895
3.4.3.1	Recyclingeigenschaften von Aluminium	895
3.4.3.2	Aufbereitung von Al-Schrotten	896
3.4.3.3	Schmelzverfahren für Al-Schrotte	897
3.4.3.4	Recycling von Magnesium-Werkstoffen	898
3.4.4	Recycling von Kupfer- und Nickelwerkstoffen	898
3.4.4.1	Recyclingeigenschaften von Kupfer	898
3.4.4.2	Aufbereitung der Cu-Schrotte	898
3.4.4.3	Verarbeitung von Cu-Schrotten und Gewinnung von Begleitmetallen	899
3.4.4.4	Recycling von Nickel	900
3.4.5	Recycling von Zinkwerkstoffen und zinkreichen Stäuben	901
3.4.5.1	Umschmelzen und Raffination von Zn-Schrotten und Krätzen	902
3.4.5.2	Zn-Recycling aus Stahlwerks- und Kupolofenstäuben	902
3.4.6	Recycling von Edelmetallen	903
3.4.6.1	Aufbereitung von Edelmetallschrotten und edelmetallhaltigen Abfällen	903
3.4.6.2	Recycling von Edelmetallwerkstoffen	903
3.4.7	Recycling von Titan- und Tantalwerkstoffen	903
3.5	Recycling von Kunststoffen	904
3.5.1	Recyclingeigenschaften von Kunststoffen	904
3.5.2	Werkstoffrecycling von Thermoplasten	906
3.5.3	Werkstoffrecycling von Duroplasten	907
3.5.4	Werkstoffrecycling von Elastomeren	907
3.5.5	Rohstoffrecycling von Kunststoffen	907
3.5.6	Energetische Verwertung von Kunststoffen	908
3.6	Recycling von Glaswerkstoffen	908
3.6.1	Recyclingeigenschaften von Altglas	908
3.6.2	Mechanische Aufbereitung von Altglas und Fremdscherben	909
3.7	Schlussfolgerungen für einen recyclinggerechten Werkstoffeinsatz	910
3.8	Weiterführende Informationen	913
4	<b>Korrosionsschutz durch Überzüge</b>	
	<i>Elvira Moeller</i>	915
4.1	Arten und Erscheinungsformen der Korrosion	919
4.1.1	Korrosionsverhalten unterschiedlicher Metalle	919
4.1.2	Einfluss des einwirkenden Mediums auf die Korrosion	919
4.1.3	Definition der Erscheinungsformen und Arten der Korrosion	921
4.2	Verfahren des Korrosionsschutzes	923
4.3	Korrosionsschutz durch Überzüge	925
4.3.1	Metallische Überzüge	925
4.3.1.1	Schmelztauchen	925

4.3.1.2	Thermisches Spritzen	926
4.3.1.3	Galvanisieren	926
4.3.1.4	Andere Verfahren zum Aufbringen metallischer Überzüge	927
4.3.1.5	Eigenschaften metallischer Überzüge	928
4.3.2	Nicht-metallische anorganische Überzüge	929
4.3.2.1	Schichtumwandelnde Verfahren	929
4.3.2.2	Emaillierungen	929
4.4	Anwendungsbeispiele	929
4.4.1	Feuerverzinkung am Parkregal Sindelfingen	929
4.4.2	Galvanisierung von Einzelteilen oder Schüttgut	930
4.4.3	Emaillierung eines Lagertanks	930
4.5	Zusammenfassung und Ausblick	931
4.6	Weiterführende Informationen	931
<b>5</b>	<b>Korrosionsschutz durch Beschichtungen</b>	
	<i>Elvira Moeller</i>	933
5.1	Beschichtungsstoffe für die industrielle Lackierung	935
5.1.1	Aufbau von Beschichtungsstoffen	935
5.1.2	Produkte	936
5.1.2.1	Konventionelle Lacke	936
5.1.2.2	High Solids	936
5.1.2.3	Wasserlacke	937
5.1.2.4	Pulverlacke	937
5.1.3	Mechanismen der Filmbildung	938
5.1.3.1	Physikalische Trocknung	938
5.1.3.2	Chemische Härtung	939
5.2	Oberflächenvorbereitung und Oberflächenvorbehandlung	940
5.3	Applikation von Beschichtungsstoffen	941
5.3.1	Tauchen und Walzen	941
5.3.2	Spritzlackierung	943
5.3.3	Pulverbeschichtung	944
5.4	Aufbau und Eigenschaften von Beschichtungssystemen	944
5.4.1	Schichtfolge in Beschichtungssystemen	944
5.4.2	Auswahl der Beschichtungssysteme	946
5.4.3	Beschichtungssysteme für atmosphärische Umgebungsbedingungen	946
5.4.4	Beschichtungssysteme für den Stahlwasserbau	947
5.4.5	Duplex-Systeme	947
5.4.6	Eigenschaften der Beschichtungen	948
5.5	Schichtdicke als Qualitätsfaktor	948
5.6	Anwendungsbeispiele	949
5.6.1	Automobil-Lackierung	949
5.6.2	Stahlhochbau	949
5.6.3	Stahlwasserbau	950
5.6.4	Schiffbau	951
5.6.5	Pipe Coatings	951
5.6.6	Großfahrzeuge	951
5.7	Zusammenfassung und Ausblick	951
5.8	Weiterführende Informationen	952

<b>6</b>	<b>Analyse von Schadensfällen</b>	
	<i>Gerald Schumacher</i> .....	953
6.1	Bruch der Welle einer Spanntrommel eines Überband-Magnetabscheiders .....	957
6.2	Bruch einer Vorgelegewelle .....	960
6.3	Bruch einer Ankerschraube .....	963
6.4	Bruch einer Zugstange aus einer Regelarmatur .....	964
6.5	Bruch eines Glockenklöppels .....	968
6.6	Bruch einer Parallelogramm-Federgabel an einem Mountainbike .....	972
6.7	Schäden an den Keilsteinen von Mühlenauskleidungen	
	<i>Hans Hoppert</i> .....	975
<b>VI</b>	<b>Übergeordnete Aspekte für die Werkstoffauswahl</b> .....	979
<b>1</b>	<b>Anforderungen an die Auswahl von geeigneten Werkstoffen vor dem Hintergrund europäischer und nationaler Gesetzgebung</b>	
	<i>Friedrich Stoll</i> .....	981
1.1	Werkstoffe für technische Prozesse .....	983
1.2	Neue Anforderungen durch Richtlinien der EU .....	984
1.3	Werkstoffauswahl in der Praxis .....	986
1.4	Beispiele für Werkstoffeignungsnachweise .....	987
	1.4.1 Rohrleitungen für Kühlwasser .....	988
	1.4.2 Korrosionsgefährdung von außen .....	988
	1.4.3 Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen an den Einsatzgrenzen von Werkstoffen .....	989
1.5	Zusammenfassung .....	989
1.6	Weiterführende Informationen .....	990
<b>2</b>	<b>WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft</b>	
	<i>Elvira Moeller</i> .....	991
2.1	Werkstoffentwicklung für die Zukunft .....	993
2.2	Ergebnisse von WING bis zum Jahre 2006 .....	995
	2.2.1 Handlungsfeld: Leichtbau .....	995
	2.2.2 Handlungsfeld: Schichten und Grenzflächen .....	996
	2.2.3 Handlungsfeld: Werkstoffe, Chemie und Lebenswissenschaften .....	997
	2.2.4 Handlungsfeld: Bionische Werkstoffe .....	997
	2.2.5 Handlungsfeld: Ressourceneffiziente Werkstoffe .....	998
	2.2.6 Handlungsfeld: Computational Materials Science .....	999
2.3	Weiterführende Informationen .....	999
	<b>Kennwerte von Werkstoffen</b> .....	1001
	<b>Liste der beschriebenen Produkte</b> .....	1007
	<b>Index</b> .....	1017