

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	XXXIII
I Methoden der Werkstoffauswahl	1
<i>Martin Reuter</i>	
1 Allgemeine Aspekte der Werkstoffauswahl	9
1.1 Motivation für eine Werkstoffinnovation oder -änderung	9
1.1.1 Gesetze des Marktes	9
1.1.2 Neue Produkte	9
1.1.3 Qualitätsprobleme	10
1.1.4 Vorgaben und Vorschriften	10
1.1.5 Standardisierung	10
1.1.6 Weitere Beweggründe für eine Werkstoffänderung	10
1.2 Entscheidungssituationen	11
1.3 Komplexität von Werkstoffauswahlprozessen	12
2 Konzepte zur Lösung von Werkstofffragen	17
2.1 Methodik von systematischen Werkstoffauswahlprozessen	18
2.2 Potenziale und Grenzen der methodischen Werkstoffauswahl	23
3 Ermittlung der Werkstoffanforderungen	25
3.1 Wechselwirkungen mit dem Konstruktionswerkstoff	26
3.2 Werkstoffeigenschaften	28
3.3 Erstellen einer Materialanforderungsliste	30

3.3.1	Übersetzung der Produkt- in Werkstoffanforderungen.....	30
3.3.2	Eigenschaftsgrenzen.....	33
3.3.3	Die Materialanforderungsliste.....	34
3.4	Weitere Bezugsquellen für Materialanforderungen.....	35
3.4.1	Fertigungstechnische Materialanforderungen	35
3.4.2	Schadensstatistiken und Schadensfälle.....	38
3.4.3	Materialanforderungen aus Kostensicht	43
3.4.4	Ableitung weiterer Materialanforderungen.....	51
4	Such- und Auswahlprozess.....	53
4.1	Vorauswahl	53
4.1.1	Eigenschaften der Werkstoffgruppen	53
4.1.2	Kriterien der Vorauswahl	55
4.1.3	Werkstoffschaubilder.....	56
4.1.4	Anwendung von Designparametern und Materialindizes.....	62
4.1.5	Materialindizes in Werkstoffschaubildern	63
4.1.6	Vereinfachte Werkstoffauswahl mit Werkstoffschaubildern und Materialindizes.....	66
4.2	Anwendung klassischer Bewertungsverfahren	67
4.2.1	Methoden zur Ermittlung von Gewichtungsfaktoren.....	69
4.2.2	Auswertemethoden zur Erstellung von Ranglisten	71
4.2.2.1	Ermittlung eines anforderungsspezifischen Kostenfaktors	72
4.2.2.2	Fortlaufende Anwendung von Materialanforderungen	72
4.2.2.3	Methode der gewichteten Punktebewertung	72
4.2.2.4	Einbeziehung von Grenzwerten unterschiedlicher Bewertungsrichtungen sowie von Zielwerten	74
4.2.3	Verfeinerung der Gewichtung durch Fuzzy-Logik	75
4.2.4	Zusammenfassung der Bewertungsverfahren.....	76
4.3	Ganzheitliche Auswahlmethode nach Ashby.....	76
4.3.1	Einbeziehung der Form	76
4.3.2	Einbeziehung des Fertigungsprozesses	78
4.3.3	Materialauswahl nach Ashby	79
4.3.4	Cambridge Engineering Selector (CES).....	82
5	Informationsbeschaffung.....	87
5.1	Informationsbedarf und Datenqualität.....	87
5.2	Beschaffungsquellen.....	88
5.3	Zugangsmöglichkeiten zu Printmedien.....	89
5.4	Rechnergestützte Informationssysteme.....	91
5.4.1	Werkstoffdatenbanken und -informationssysteme.....	93
5.4.1.1	Werkstoffgruppen übergreifende Informationssysteme	94
5.4.1.2	Schwerpunkt Nichteisenmetalle (gegebenenfalls mit Eisenwerkstoffen)	95
5.4.1.3	Schwerpunkt Stahl	95
5.4.1.4	Kunststoffe	96
5.4.1.5	Verbundwerkstoffe.....	98

5.4.1.6	Spezielle anwendungsspezifische Informationssysteme.....	99
5.4.2	Expertensysteme (XPS)	102
6	Feinauswahl und Entscheidungsfindung	103
6.1	Ausgewählte Möglichkeiten der Evaluierung und Validierung	104
6.1.1	Grundlegende Berechnungen	104
6.1.2	CAD-Systeme	105
6.1.3	FEM-Systeme und Simulationen.....	105
6.1.4	Design of Experiments (DOE).....	107
6.1.5	Prototypen und Rapid Prototyping	108
6.2	Endgültige Materialwahl	109
7	Zuverlässigkeitsstrukturen und Qualitätsmanagement	111
7.1	Prozessübergreifende Werkzeuge	112
7.1.1	Quality Function Deployment.....	112
7.1.2	Design Reviews und Qualitätsbewertungen	114
7.1.3	Checklisten	114
7.2	Werkzeuge zur Ermittlung von Entwicklungsschwerpunkten	115
7.2.1	ABC-Analyse (Pareto-Analyse).....	115
7.2.2	Kostenstrukturen.....	116
7.3	Werkzeuge zur Aufgabenklärung und zur Konzeptphase	116
7.3.1	Funktionsanalyse.....	116
7.3.2	Benchmarking.....	117
7.3.3	Analyse des Ausfallverhaltens.....	117
7.4	Risikoanalysen	119
7.4.1	Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA).....	119
7.4.2	Fehlerbaumanalysen (FTA).....	120
7.4.3	Weitere Werkzeuge der Risikoanalyse	120
8	Zusammenfassung	123
9	Weiterführende Informationen	127
10	Anforderungen an die Werkstoffauswahl vor dem Hintergrund europäischer und nationaler Gesetzgebung	129
	<i>Friedrich Stoll</i>	
10.1	Entwicklung von Anforderungen an Werkstoffe	131
10.2	Anforderungen durch Richtlinien der EG	133
10.3	Werkstoffauswahl in der Praxis	135

10.4 Beispiele für Werkstoffprüfungsnachweise	136
10.4.1 Rohrleitungen für Kühlwasser.....	137
10.4.2 Korrosionsgefährdung von außen	138
10.4.3 Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen an den Einsatzgrenzen von Werkstoffen	138
10.5 Zusammenfassung	139
10.6 Weiterführende Informationen	140
II Stahl und andere Eisenwerkstoffe	141
I Einteilung und Eigenschaften von Eisenwerkstoffen	145
<i>Elvira Moeller</i>	
1.1 Definitionen von Eisen und Stahl	147
1.1.1 Knetlegierungen	147
1.1.2 Gusslegierungen.....	148
1.1.3 Stähle	150
1.2 Stahlerzeugung	152
1.2.1 Reduktion der Oxide	152
1.2.2 Nachbehandlung von Stahl (Sekundärmetallurgie)	153
1.2.3 Vergießen von Stahl.....	154
1.2.4 Wärmebehandlung von Stahl	155
1.3 Formgebung und Produktformen	156
1.4 Anwendungseigenschaften von Stählen	158
<i>Wolfgang Bleck</i>	
1.4.1 Festigkeit von Stählen.....	158
1.4.2 Zähigkeit und Bruchverhalten von Stählen	159
1.5 Trennen und Fügen von Stahl	161
1.5.1 Trennen	161
1.5.2 Fügen	161
1.6 Systematik der Stähle	162
<i>Wolfgang Bleck</i>	
1.6.1 Europäische Normung	162
1.6.2 Einteilung der Stähle nach Hauptgüteklassen	162
1.6.2.1 Unlegierte Stähle	162
1.6.2.2 Nichtrostende Stähle.....	163
1.6.2.3 Andere legierte Stähle	163
1.6.3 Bezeichnungssystem für Stähle.....	164
1.6.3.1 Bezeichnung nach Verwendungszweck sowie nach mechanischen und physikalischen Eigenschaften ...	164
1.6.3.2 Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung.....	165
1.6.3.3 Bezeichnung der Stähle nach Werkstoffnummern	165
1.7 Zusammenfassung und Ausblick	169

1.8	Weiterführende Informationen.....	169
2	Unlegierte und niedriglegierte Stähle.....	173
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
2.1	Stähle für die Direktverarbeitung	175
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
2.1.1	Stähle für Feinblech.....	175
2.1.1.1	Weiche unlegierte Stähle	176
2.1.1.2	Hochfeste kaltumformbare Stähle	178
2.1.2	Stähle für allgemeine Konstruktionen (Baustähle)	180
2.1.2.1	Anforderungen an die Verwendungseigenschaften	181
2.1.2.2	Anforderungen an die Verarbeitungseigenschaften.....	182
2.1.2.3	Stahlsorten.....	184
2.1.3	Stähle für die Kaltmassivumformung.....	186
2.2	Stähle für die Kalt- oder Warmumformung mit anschließender Wärmebehandlung	188
2.2.1	Stähle für eine Randschichthärtung.....	188
2.2.1.1	Einsatzhärten.....	189
2.2.1.2	Stahlsorten für die Einsatzhärtung	189
2.2.1.3	Nitrieren	190
2.2.1.4	Stahlsorten für das Nitrieren.....	191
2.2.2	Stähle für eine Vergütungsbehandlung.....	191
2.2.2.1	Anforderungen an Vergütungsstähle	192
2.2.2.2	Stahlsorten für das Vergüten.....	192
2.2.2.3	Prüfung der Härbarkeit	193
2.2.2.4	Berechnung der Härbarkeit.....	195
2.2.3	Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische (AFP) Stähle	197
2.2.4	Eigenschaften gehärteter Stähle	200
2.2.5	Federstähle	202
2.3	Stähle für besondere Anwendungen	202
2.3.1	Stähle für die Zerspanung	202
2.3.2	Stähle für Verbindungselemente	205
2.4	Anwendungsbeispiele.....	208
	<i>Stefan Bauer mit Mélanie Philippi und Françoise Stuppy</i>	
2.4.1	Die elegante irische Harfe: Samuel Beckett Bridge in Dublin	208
2.4.2	„Stählerne Maulwürfe“ für den Gotthard-Basistunnel	208
2.4.3	Grobbleche für das neue Warschauer EM-Stadion	209
2.4.4	Schwerlastschiff OSA Goliat – ein Riese im Golf von Mexiko	210
2.4.5	Kreuzfahrtschiff Queen Mary 2	210
2.4.6	Nord Stream – langfristige Energiesicherheit für Europa.....	211
2.4.7	Wasserkraftwerk in China	212
2.4.8	Das Mekka Royal Clock Tower Hotel	212
2.4.9	Offshore-Windanlagen	213
2.4.10	Long Lake Project – Ölsandgewinnung in Kanada.....	215
2.4.11	Hochdruckabscheider für eine Gas-Öl-Trennanlage in Saudi-Arabien.....	216
2.4.12	Gasspeicheranlage in Großbritannien.....	217
2.5	Weiterführende Informationen.....	218

3 Hochlegierte Stähle – Nichtrostende und hitzebeständige Stähle	223
<i>Winfried Heimann</i>	
3.1 Einleitung	225
3.1.1 Einteilung der nichtrostenden und hitzebeständigen Stähle	225
3.1.2 Abhängigkeit der Gefügeart von den Legierungselementen.....	225
3.1.3 Einstellung des Gefüges durch Wärmebehandlung	226
3.1.4 Nichtrostende ferritische Stähle.....	227
3.1.5 Nichtrostende martensitische Stähle	228
3.1.6 Nichtrostende austenitische Stähle	229
3.1.7 Nichtrostende ferritisch-austenitische Stähle	230
3.1.8 Hitzebeständige ferritische Stähle.....	230
3.1.9 Hitzebeständige austenitische Stähle.....	231
3.2 Eigenschaften von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen	231
3.2.1 Mechanische Eigenschaften	231
3.2.1.1 Nichtrostende ferritische Stähle.....	232
3.2.1.2 Nichtrostende martensitische Stähle.....	232
3.2.1.3 Nickelmartensitische Stähle	232
3.2.1.4 Ausscheidungshärtbarer nickelmartensitischer Stahl	234
3.2.1.5 Nichtrostende austenitische Stähle	237
3.2.1.6 Nichtrostende ferritisch-austenitische Stähle	237
3.2.1.7 Hitzebeständige ferritische und austenitische Stähle	238
3.2.2 Physikalische Eigenschaften	240
3.2.3 Chemische Eigenschaften.....	242
3.3 Verarbeitung von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen	244
3.3.1 Be- und Verarbeitung.....	244
3.3.2 Fügeverfahren.....	245
3.3.3 Oberflächenveredlung.....	246
3.4 Gebrauchseigenschaften	247
3.4.1 Nichtrostende Stähle.....	247
3.4.2 Hitzebeständige Stähle	248
3.5 Beispielhafte Anwendungen	249
3.5.1 Nichtrostende Stähle im Bauwesen	249
3.5.2 Nichtrostende Stähle im Chemikalienankerbau	251
3.5.3 Nichtrostende Stähle in der Meerwasserentsalzung.....	251
3.5.4 Nichtrostende Stähle in der Rauchgasentschwefelung	252
3.5.5 Nichtrostende Stähle im Kraftfahrzeugbau	253
3.5.6 Nichtrostende Stähle in der Öl- und Gasförderung	254
3.6 Zusammenfassung	255
3.7 Weiterführende Informationen	255

4	Werkzeugstähle	259
	<i>Hans-Joachim Wieland, Ingrid Jung, Gernot Strehl, Peter Vetter</i>	
4.1	Einleitung.....	261
4.2	Kaltarbeitsstähle	261
	<i>Ingrid Jung</i>	
4.3	Warmarbeitsstähle	263
	<i>Gernot Strehl</i>	
4.4	Kunststoffformenstähle	265
	<i>Peter Vetter</i>	
4.5	Schnellarbeitsstähle	267
	<i>Hans Joachim Wieland</i>	
4.6	Weiterführende Informationen.....	269
5	Stahlguss und Gusseisen	273
	<i>Elvira Moeller</i>	
5.1	Einteilung und Definition	275
5.2	Stahlguss.....	275
5.3	Gusseisen	278
5.3.1	Gusseisen mit Lamellengraphit.....	278
5.3.2	Gusseisen mit Kugelgraphit	279
5.3.3	Bainitisches Gusseisen mit Kugelgraphit.....	280
5.3.4	Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV).....	281
5.3.5	Temperguss.....	282
5.3.6	Weißes Gusseisen	283
5.4	Beispielhafte Anwendungen	284
5.4.1	Schwer Gussteile für den Spezialmaschinenbau in Serienproduktion.....	284
5.4.2	Guss für die weltgrößte Windenergieanlage	284
5.4.3	Maschinenträger der Superlative für die Windenergie	285
5.4.4	Werkstoffsicherheit im Leichtbau.....	286
5.4.5	GJS-Werkstoffe für Windkraftanlagen in Regionen mit höherer klimatischer Belastung.....	287
5.5	Weiterführende Informationen.....	288
6	Pulvermetallurgie	291
	<i>Frank Baumgärtner</i>	
6.1	Bedeutung der Pulvermetallurgie und Einteilung der Werkstoffe	293
6.2	Herstellung der Sinterpulver	297
6.3	Eigenschaften der Sinterpulver	298

6.3.1	Physikalische Eigenschaften	298
6.3.1.1	Spezifische Oberfläche.....	299
6.3.1.2	Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung	300
6.3.1.3	Teilchenform	300
6.3.1.4	Härte	300
6.3.2	Technologische Eigenschaften	300
6.4	Formgebung und Sinterung	302
6.4.1	Möglichkeiten der Formgebung	302
6.4.1.1	Schüttsinterung (Gravity Sintering)	302
6.4.1.2	Axiale Presstechnik	303
6.4.1.3	Warmpresstechnik (Warm Compaction)	307
6.4.1.4	Kaltisostatische Presstechnik	308
6.4.1.5	Heißisostatisches Verdichten (Hot isostatic pressing - HIP)	308
6.4.1.6	Pulvermetallurgisches Spritzgießen (Metal Injection Molding)	308
6.4.1.7	Pulverwalzen	310
6.4.1.8	Schlickergießen	310
6.4.2	Verfahren der Sinterung.....	310
6.4.2.1	Phänomenologie der Sintertechnik	310
6.4.2.2	Sinteratmosphären	311
6.4.2.3	Anlagen für den Sinterprozess	311
6.4.3	Verfahren unter Anwendung von Druck und Temperatur	312
6.4.3.1	Pulverschmieden	312
6.4.3.2	Heißisostatisches Pressen	312
6.4.3.3	Strangpressen	313
6.4.3.4	Sprühkompaktieren	313
6.4.3.5	Hochgeschwindigkeitsverdichten	313
6.4.4	Nachbearbeitung der Formkörper	313
6.4.4.1	Kalibrieren.....	313
6.4.4.2	Entgraten	314
6.4.4.3	Spanende Bearbeitung.....	315
6.4.4.4	Infiltration und Imprägnation.....	316
6.4.4.5	Metallische Überzüge	316
6.4.4.6	Beschichtungen aus der Gasphase	316
6.4.4.7	Randschichtverfestigung	317
6.4.4.8	Oberflächenumschmelzen	317
6.4.4.9	Wärmebehandlung	317
6.4.5	Fügen von Sintereisen und Sinterstahl	317
6.5	Eigenschaften von Sinterwerkstoffen	318
6.5.1	Ausbildung der Werkstoffeigenschaften.....	318
6.5.2	Ausbildung der Oberfläche	319
6.5.3	Erzielbare Toleranzen	320
6.5.4	Härte von porösen Werkstoffen	321
6.5.5	Festigkeitseigenschaften.....	321
6.6	Beispielhafte Anwendungen von Sinterwerkstoffen	327
6.6.1	Sinterfilter.....	327
6.6.2	Sintergleitlager	328
6.6.3	Axial gepresste Formteile.....	330
6.6.3.1	Niedriglegierte Werkstoffe.....	330
6.6.3.2	Weichmagnetische Werkstoffe.....	333
6.6.3.3	Soft Magnetics Composites (SMC).....	333

6.6.4	Friktionswerkstoffe.....	334
6.6.5	MIM-Bauteile	334
6.6.5.1	Niedriglegierte FeNiCr-Stähle.....	335
6.6.5.2	Säure- und laugenbeständiger Stahl.....	336
6.6.5.3	Hitzebeständiger Stahl.....	337
6.6.5.4	Verschleißbeständiger Stahl	337
6.6.5.5	Weichmagnetischer FeSi-Werkstoff	337
6.6.5.6	Hochwarmfeste Ni-Basislegierung	338
6.6.5.7	Hartmetalle	338
6.6.5.8	Zweikomponentenbauteile.....	339
6.7	Zusammenfassung und Ausblick	339
6.8	Weiterführende Informationen.....	340
III	Nichteisenmetalle als Konstruktionswerkstoffe	343
1	Aluminium und seine Legierungen	345
	<i>Werner Mader und Wolfgang Heidrich</i>	
1.1	Aluminium als reines Metall	349
1.2	Aluminiumlegierungen	349
1.2.1	Eigenschaften von Aluminiumlegierungen.....	349
1.2.1.1	Physikalische Eigenschaften	350
1.2.1.2	Mechanische Eigenschaften	350
1.2.2	Unterteilung und Nomenklatur der Aluminium-Werkstoffe	352
1.2.3	Aluminium-Knetlegierungen.....	352
1.2.4	Aluminium-Gusslegierungen	355
1.3	Beschreibung der einzelnen Gruppen von Aluminiumlegierungen	357
1.3.1	Nicht aushärtbare Legierungen.....	357
1.3.2	Aushärtbare Legierungen.....	358
1.3.3	Legierungen für spezielle Anwendungen.....	359
1.4	Aluminiumerzeugnisse und Lieferformen	360
1.4.1	Hüttenaluminium	360
1.4.2	Sekundäraluminium.....	361
1.4.3	Aluminiumhalbzeug	361
1.5	Verarbeitung und Bearbeitung von Aluminium-Werkstoffen	364
1.5.1	Urformen	364
1.5.2	Umformen.....	364
1.5.3	Fügen von Aluminiumwerkstoffen	366
1.5.3.1	Mechanische Fügeverfahren.....	366
1.5.3.2	Thermische Fügeverfahren.....	368
1.5.4	Oberflächenbehandlung	369
1.5.4.1	Mechanische Oberflächenvorbehandlung	370
1.5.4.2	Chemische Oberflächenvorbehandlung.....	370

1.6	Anwendung von Aluminiumwerkstoffen.....	371
1.7	Zusammenfassung und Ausblick.....	373
1.8	Weiterführende Informationen.....	374
2	Magnesium und seine Legierungen.....	379
	<i>Peter Kurze</i>	
2.1	Magnesium als reines Metall.....	381
2.2	Magnesiumlegierungen.....	382
2.2.1	Einteilung und Nomenklatur von Magnesiumlegierungen.....	382
2.2.2	Einfluss der Legierungselemente	383
2.3	Eigenschaften von Magnesiumlegierungen	383
2.3.1	Mechanische Eigenschaften	383
2.3.2	Physikalische Eigenschaften	384
2.3.3	Chemische Eigenschaften.....	388
2.4	Korrosion und Korrosionsschutz	390
2.4.1	Korrosion	390
2.4.2	Korrosionsschutz	390
2.4.2.1	Zusatz von ausgewählten Legierungselementen.....	390
2.4.2.2	Oberflächenbehandlung von Magnesiumwerkstoffen	391
2.5	Verarbeitung und Bearbeitung von Magnesiumlegierungen	393
2.5.1	Urformen	393
2.5.2	Umformen.....	394
2.5.3	Fügen von Magnesiumlegierungen.....	395
2.6	Anwendung von Magnesiumlegierungen	396
2.6.1	Automobilbau.....	396
2.6.2	Kommunikationstechnik	397
2.6.3	Elektronik	397
2.6.4	Drucktechnik.....	398
2.6.5	Maschinenbau.....	399
2.6.6	Raumfahrt.....	399
2.7	Weiterführende Informationen.....	399
3	Titan und seine Legierungen.....	403
	<i>Heinz Sibum und Jürgen Kiese</i>	
3.1	Titan als reines Metall.....	405
3.2	Einteilung der Titanwerkstoffe	405
3.2.1	Reintitan	405
3.2.2	Titanlegierungen	406

3.3	Eigenschaften von Titanlegierungen	408
3.3.1	Physikalische und technologische Eigenschaften	408
3.3.2	Konsequenzen für eine werkstoffgerechte und kosteneffektive Konstruktion	410
3.4	Be- und Verarbeitung von Titanwerkstoffen	412
3.4.1	Wärmebehandlung	412
3.4.2	Fügeverfahren.....	414
3.4.2.1	Thermisches Fügen	415
3.4.2.2	Mechanisches Fügen	416
3.4.2.3	Chemisches Fügen.....	417
3.4.3	Spanende Bearbeitung.....	418
3.4.4	Trennen, Stanzen, Lochen und Abtragen	418
3.4.5	Umformen.....	418
3.4.6	Oberflächenbearbeitung	419
3.4.6.1	Dekorative Schichten	419
3.4.6.2	Verschleißschutzschichten	420
3.4.6.3	Festigkeitsstrahlen	420
3.5	Sicherheitsaspekte und Recycling	420
3.6	Halbzeugherstellung und Halbzeugformen	421
3.7	Anwendungsbeispiele	421
3.7.1	Luft- und Raumfahrt	422
3.7.2	Chemische Industrie, Lebensmittel- und Arzneimitteltechnik	423
3.7.3	Elektrotechnik, Energieerzeugung und -speicherung.....	423
3.7.4	Meeres-, Wasser-, Offshore-Technik.....	424
3.7.5	Medizintechnik	425
3.7.6	Automobilindustrie.....	425
3.7.7	Verkehrstechnik.....	425
3.7.8	Maschinenbau.....	425
3.7.9	Bauwesen.....	426
3.7.10	Personenschutz.....	426
3.8	Zusammenfassung und Ausblick	426
3.9	Weiterführende Informationen	427
4	Kupfer und seine Legierungen	433
	<i>Anton Klassert und Ladji Tikana</i>	
4.1	Kupfer als reines Metall	435
4.2	Kupferlegierungen	435
4.2.1	Unterteilung und Kennzeichnung	435
4.2.2	Kupferknetwerkstoffe	437
4.2.2.1	Knetkupfer.....	437
4.2.2.2	Niedriglegierte Kupfer-Knetlegierungen.....	438
4.2.2.3	Kupfer-Zink-Knetlegierungen	440
4.2.2.4	Kupfer-Zinn-Knetlegierungen.....	440
4.2.2.5	Kupfer-Nickel-Knetlegierungen	441
4.2.2.6	Kupfer-Nickel-Zink-Knetlegierungen.....	441

4.2.2.7	Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen	443
4.2.3	Kupfergusswerkstoffe	443
4.2.3.1	Gusskupfer und Kupfer-Chrom-Gusslegierung	443
4.2.3.2	Kupfer-Zink-Gusslegierungen	443
4.2.3.3	Kupfer-Zinn-Gusslegierungen	443
4.2.3.4	Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen	444
4.2.3.5	Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen	445
4.2.3.6	Kupfer-Mangan-Aluminium- und Kupfer-Nickel-Gusslegierungen	446
4.3	Eigenschaften von Kupferwerkstoffen	446
4.3.1	Mechanisch-technologische Eigenschaften	446
4.3.1.1	Festigkeitswerte bei Raumtemperatur	447
4.3.1.2	Warmfestigkeit und Kriechverhalten	451
4.3.1.3	Verhalten bei tiefen Temperaturen	453
4.3.1.4	Feder-Relaxationsverhalten sowie Biegebarkeit	453
4.3.1.5	Verhalten bei zyklischer Beanspruchung	455
4.3.2	Physikalische Eigenschaften	455
4.3.3	Chemische Eigenschaften und Korrosionsverhalten	457
4.4	Verarbeitung und Bearbeitung von Kupferwerkstoffen	458
4.4.1	Mechanische Bearbeitung	458
4.4.2	Andere Bearbeitungsverfahren	460
4.4.3	Fügen von Kupferwerkstoffen	460
4.4.3.1	Löten	460
4.4.3.2	Schweißen	460
4.4.3.3	Andere Verbindungsverfahren	461
4.4.4	Wärmebehandlung	461
4.4.5	Oberflächenvorbehandlung	463
4.5	Gebrauchseigenschaften und Umweltverhalten	464
4.6	Beispielhafte Anwendungen	464
4.6.1	Elektrotechnik und Elektronik	464
4.6.2	Bauindustrie und Sanitärtechnik	465
4.6.3	Maschinen- und Apparatebau	466
4.6.4	Lageranwendungen	466
4.6.5	Chemische Industrie und Nahrungsmittelindustrie	467
4.6.6	Schienen-, Straßen-, Wasser- und Luftfahrzeugbau	468
4.6.7	Kälte- und Klimatechnik	468
4.6.8	Feinmechanik, Geräte- und Instrumentenbau	468
4.6.9	Schmuck- und Metallwaren sowie andere Anwendungen	468
4.7	Zusammenfassung	468
4.8	Weiterführende Informationen	469
5	Nickel und seine Legierungen	473
	<i>Ulrich Heubner</i>	
5.1	Nickel als reines Metall	475
5.2	Nickellegierungen	475

5.2.1	Anwendung von Nickellegierungen und ihre Verteilung.....	475
5.2.2	Nickellegierungen als Konstruktionswerkstoffe	476
5.3	Eigenschaften von Nickellegierungen.....	478
5.3.1	Mechanische Eigenschaften	478
5.3.2	Physikalische Eigenschaften	482
5.3.3	Chemische Eigenschaften.....	482
5.4	Verarbeitung von Nickellegierungen	485
5.4.1	Be- und Verarbeitung.....	485
5.4.2	Fügeverfahren.....	485
5.4.3	Oberflächenveredelung.....	487
5.5	Gebrauchseigenschaften	487
5.5.1	Nickellegierungen für die Handhabung aggressiver korrosiver Medien unter Nasskorrosionsbedingungen	487
5.5.1.1	Unlegiertes Nickel	487
5.5.1.2	Nickel-Kupfer-Legierungen	487
5.5.1.3	Nickel-Molybdän-Legierungen	488
5.5.1.4	Nickel-Chrom-Eisen-Legierungen	488
5.5.1.5	Nickel-Chrom-Molybdän-Legierungen	489
5.5.1.6	Nickel-Chrom-Eisen-Molybdän-Kupfer-Legierungen	491
5.5.1.7	Aushärtbare Nickel-Chrom-Eisen-Molybdän(-Kupfer)-Legierungen	491
5.5.2	Nickellegierungen für die korrosive Beanspruchung durch heiße Gase und Verbrennungsprodukte - hitzebeständige Nickelwerkstoffe	492
5.5.3	Nickellegierungen für mechanische Beanspruchung bei sehr hohen Temperaturen - hochwarmfeste Nickelwerkstoffe	493
5.6	Beispielhafte Anwendungen	494
5.6.1	Anwendung in der chemischen Prozesstechnik.....	495
5.6.1.1	Anlagen zur Herstellung von Phosphor- und Superphosphorsäure und von Phosphatdüngemitteln ...	495
5.6.1.2	Anlagen zur Salzerzeugung.....	495
5.6.1.3	Anlagen zur Herstellung von Chlor und Ätznatron.....	495
5.6.1.4	Anlagen zur Herstellung von Vinylchlorid.....	495
5.6.1.5	Anlagen zur Mineralgewinnung.....	496
5.6.1.6	Anlagen in der Papier- und Zellstoffindustrie	496
5.6.1.7	Anlagen zur Synthese organischer Verbindungen.....	496
5.6.1.8	Raffinerien	496
5.6.2	Anwendung im Industrieofenbau	496
5.6.2.1	Öfen mit oxidierenden Atmosphären	497
5.6.2.2	Öfen mit aufkohlenden Atmosphären	498
5.6.2.3	Öfen mit nitrierenden Atmosphären	498
5.6.2.4	Öfen mit halogenierenden Atmosphären.....	498
5.6.2.5	Öfen mit sulfidierenden Atmosphären	498
5.6.3	Anwendung in der Energietechnik	498
5.6.3.1	Dampferzeuger	498
5.6.3.2	Kraftwerksgasturbinen.....	498
5.6.4	Anwendung in der Umwelttechnik	498
5.6.4.1	Rauchgasentschwefelungsanlagen	498
5.6.4.2	Müllverbrennungsanlagen	500
5.6.4.3	Abwasseraufbereitungsanlagen	500
5.6.5	Anwendung bei der Öl- und Gasgewinnung und in der Meerestechnik	500
5.6.5.1	Anlagen zur Förderung von Sauregas und schwefelhaltigem Rohöl	500

5.6.5.2	Anlagen der Meerestechnik.....	501
5.6.6	Anwendung in der Automobilindustrie.....	501
5.6.6.1	Zündkerzen und Glühkerzen	501
5.6.6.2	Ventilstangen.....	501
5.6.6.3	Abgaskatalysatoren	501
5.6.7	Anwendung in der Luft- und Raumfahrt	502
5.7	Zusammenfassung	502
5.8	Weiterführende Informationen	502
6	Zink und seine Legierungen	507
	<i>Sabina Grund und Hans-Helmut Jeschke</i>	
6.1	Zink als reines Metall	509
6.2	Zinkdruckgusslegierungen	509
6.3	Eigenschaften von Zinkdruckgusslegierungen	510
6.3.1	Mechanische Eigenschaften	510
6.3.2	Physikalische Eigenschaften	512
6.3.3	Chemische Eigenschaften.....	512
6.4	Bearbeitung und Verarbeitung von Zinkdruckgussteilen	513
6.4.1	Füge- und Verbindungsverfahren.....	513
6.4.2	Oberflächenveredelung.....	513
6.5	Beispielhafte Anwendungen	513
6.5.1	Automobilbereich.....	513
6.5.2	Bau- und Möbelindustrie	514
6.5.3	Maschinen- und Apparatebau.....	514
6.5.4	Elektrotechnik und Elektronik	515
6.6	Weiterführende Informationen	515
7	Tantal und seine Legierungen	519
	<i>Georg Raab</i>	
7.1	Tantal als reines Metall	521
7.2	Tantalwerkstoffe	521
7.2.1	Mechanische und physikalische Eigenschaften	521
7.2.2	Chemische Eigenschaften.....	524
7.3	Be- und Verarbeitung von Tantalwerkstoffen	526
7.4	Gebrauchseigenschaften	527
7.5	Beispielhafte Anwendungen	527
7.6	Weiterführende Informationen	529

8	Zirkonium und seine Legierungen	533
	<i>Michael Renner</i>	
8.1	Zirkonium als reines Metall	535
8.2	Zirkoniumlegierungen	535
8.2.1	Chemische Zusammensetzung.....	535
8.2.2	Physikalische und mechanische Eigenschaften	537
8.2.3	Lieferformen von Zirkoniumwerkstoffen.....	538
8.3	Gebrauchseigenschaften	539
8.3.1	Chemische Beanspruchung.....	539
8.3.2	Physikalische Beanspruchung.....	540
8.3.3	Werkstoffeigenschaften	540
8.4	Verarbeitung	542
8.4.1	Plattieren	542
8.4.2	Apparatefertigung	543
8.4.2.1	Umformung.....	543
8.4.2.2	Mechanische Bearbeitung in der Werkstatt	544
8.4.2.3	Zusammenbau der Rohrbündelkomponenten	545
8.4.2.4	Wärmebehandlungen	546
8.5	Wirtschaftliche Betrachtung	546
8.6	Weiterführende Informationen	547
9	Edelmetalle und ihre Legierungen	551
	<i>David Lupton</i>	
9.1	Einleitung	553
9.2	Edelmetallwerkstoffe	553
9.2.1	Allgemeines	553
9.2.2	Reines Platin und dispersionsgehärtetes Platin	553
9.2.3	Platin-Rhodium-Legierungen.....	554
9.2.4	Platin-Iridium-Legierungen	554
9.2.5	PGM-Superlegierungen	554
9.2.6	Iridium.....	554
9.3	Eigenschaften der Edelmetallwerkstoffe	555
9.3.1	Mechanische Eigenschaften	555
9.3.2	Chemische Eigenschaften.....	558
9.4	Verarbeitung von Edelmetallwerkstoffen	559
9.5	Beispielhafte Anwendungen	559
9.5.1	Allgemeines	559
9.5.2	Platin in der Glasindustrie	559
9.5.3	Platin und Iridium für die Einkristallzüchtung.....	562
9.5.4	Platin- und Iridiumwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrt	562
9.6	Weiterführende Informationen	564

IV Nicht-metallische Konstruktionswerkstoffe	567
1 Kunststoffe	571
<i>Christian Bonten</i>	
1.1 Entwicklung und Begriffe	573
1.2 Aufbau und Herstellung von Kunststoffen	575
1.2.1 Bindungsarten in Makromolekülen.....	575
1.2.2 Mechanismen der Bildung von Polymeren.....	576
1.2.3 Herstellung von Kunststoffbauteilen.....	578
1.2.4 Eigenschaften der Polymerschmelzen.....	578
1.2.5 Übergang von Schmelze zu Feststoff.....	579
1.3 Eigenschaften von Kunststoffen	581
1.3.1 Mechanische Eigenschaften.....	581
1.3.2 Optische Eigenschaften.....	587
1.3.3 Akustische Eigenschaften.....	587
1.3.4 Elektrische Eigenschaften.....	587
1.3.5 Thermische Eigenschaften.....	587
1.3.6 Diffusionseigenschaften.....	587
1.3.7 Weitere Eigenschaften.....	588
1.3.8 Einflüsse auf die Eigenschaften.....	588
1.3.8.1 Innere Einflüsse auf die Eigenschaften.....	588
1.3.8.2 Äußere Einflüsse auf die Eigenschaften.....	591
1.3.8.3 Beeinflussung durch Zuschlagstoffe.....	592
1.4 Technologie der Kunststoffe	594
1.4.1 Verfahren zur Herstellung von Prototypen und kleinen Serien.....	594
1.4.1.1 Handlaminieren, Faserspritzen und Abkanten.....	594
1.4.1.2 Verfahren des Rapid Prototyping.....	596
1.4.1.3 Verfahren des Rapid Toolings.....	599
1.4.1.4 Tiefziehen und Thermoformen.....	602
1.4.2 Verfahren zur Serienfertigung.....	603
1.4.2.1 Spritzgießen.....	603
1.4.2.2 Pressen.....	605
1.4.2.3 Extrusionsblasformen.....	607
1.4.2.4 Polyurethan-Gießen.....	607
1.4.3 Fügen von Kunststoffen.....	609
1.4.3.1 Schweißen.....	609
1.4.3.2 Kleben.....	613
1.4.3.3 Schrauben und Nieten.....	616
1.5 Anwendungsbeispiele für verschiedene Produktgeometrien	617
1.5.1 Großflächige Produkte.....	617
1.5.2 Gehäuseartige Produkte.....	618
1.5.3 Behälterartige Produkte.....	618
1.5.4 Komplexe Produkte.....	619
1.5.5 Funktionsspezifische Produkte.....	619

1.6 Beschreibung der Kunststoffe in Form von Steckbriefen	619
1.6.1 Biokunststoffe mit zunehmender Bedeutung	622
1.6.2 Nanotechnologie in der Kunststofftechnik	623
1.7 Weiterführende Informationen	660
2 Keramische Werkstoffe	665
<i>Hans Hoppert</i>	
2.1 Werkstoffe der Technischen Keramik	667
2.1.1 Entwicklung, Definition und Begriffe.....	667
2.1.2 Silikatkeramik	669
2.1.3 Oxidkeramik	670
2.1.3.1 Aluminiumoxid	670
2.1.3.2 Zirkoniumoxid	671
2.1.3.3 Oxidische Mehrstoffsyste.me.....	672
2.1.4 Nichtoxidkeramik	672
2.1.4.1 Kohlenstoff.....	672
2.1.4.2 Carbide und Nitride.....	673
2.2 Eigenschaften der Technischen Keramik	674
2.2.1 Chemische Bindung und Kristallstruktur	675
2.2.1.1 Metallbindung.....	675
2.2.1.2 Ionenbindung.....	675
2.2.1.3 Atombindung.....	676
2.2.1.4 Molekülbindung	676
2.2.1.5 Mischbindungen	676
2.2.1.6 Ideale Kristalle und reale Strukturen.....	677
2.2.2 Das keramische Gefüge	678
2.2.2.1 Relative Dichte und Porosität	678
2.2.2.2 Phasenverteilung und Korngröße	679
2.3 Keramische Technologie	680
2.3.1 Keramische Grundoperationen.....	680
2.3.1.1 Formgebung.....	682
2.3.1.2 Sintern	682
2.3.1.3 Sintertechnik und ihre Problematik	684
2.3.1.4 Mechanische Bearbeitung	685
2.3.2 Gefügeverstärkung	686
2.3.2.1 Verstärkung durch Platelets	686
2.3.2.2 Verstärkung durch Whisker	686
2.3.2.3 Verstärkung durch Langfasern.....	686
2.3.2.4 Umwandlungsverstärkung	686
2.3.2.5 MMC-Werkstoffe	687
2.3.3 Fügetechnik	687
2.3.4 Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Technologie	688
2.4 Anwendungstechnische Eigenschaften keramischer Werkstoffe	690
2.4.1 Dichte und Porosität	690
2.4.2 Mechanische Eigenschaften	691
2.4.2.1 Festigkeit	692
2.4.2.2 Elastizität.....	694

2.4.2.3	Härte	694
2.4.3	Thermische Eigenschaften.....	695
2.4.3.1	Thermische Ausdehnung.....	695
2.4.3.2	Wärmeleitfähigkeit	695
2.4.3.3	Spezifische Wärme	696
2.4.3.4	Temperaturwechselbeständigkeit (TWB).....	696
2.4.3.5	Thermische Festigkeit	697
2.4.3.6	Kriechen	697
2.4.4	Elektrische Eigenschaften	698
2.4.5	Chemische Eigenschaften.....	698
2.4.6	Optische Eigenschaften.....	698
2.5	Eigenschaften keramischer Werkstoffe im System	699
2.5.1	Verschleiß	699
2.5.1.1	Abrasivverschleiß	700
2.5.1.2	Erosivverschleiß	702
2.5.1.3	Keramische Werkstoffe im Verschleißschutz	703
2.5.2	Korrosion	704
2.5.2.1	Korrosionsmechanismen	704
2.5.2.2	Korrosionsarten	706
2.5.2.3	Bestimmung der Korrosionsfestigkeit	707
2.5.2.4	Keramische Werkstoffe als Korrosionsschutz	708
2.5.3	Systemanalyse	709
2.5.4	Konstruieren mit Keramik.....	709
2.6	Anwendungs- und Innovationspotenzial der Technischen Keramik.....	712
2.6.1	Hochtemperaturtechnik.....	712
2.6.1.1	Konventionelle Feuerfestwerkstoffe	712
2.6.1.2	Konstruktionskeramik in der Hochtemperaturtechnik.....	713
2.6.2	Keramische Auskleidungen für den Verschleißschutz im Anlagenbau	715
2.6.3	Anlagen für die Aufbereitungs- und Prozesstechnik.....	718
2.6.3.1	Brechen und Mahlen	718
2.6.3.2	Klassieren	720
2.6.3.3	Mischen und Rühren	721
2.6.3.4	Fördertechnik	722
2.6.4	Keramik im Maschinenbau.....	723
2.6.4.1	Keramische Dichtungen.....	724
2.6.4.2	Keramische Lager	725
2.6.4.3	Dosieren und Regeln.....	726
2.6.4.4	Keramik in der Papier- und Textilindustrie.....	727
2.6.5	Metallurgie und Metallbearbeitung.....	729
2.6.5.1	Gießtechnik.....	729
2.6.5.2	Umformtechnik.....	729
2.6.5.3	Zerspanungstechnik	730
2.6.6	Keramik in der chemischen Prozesstechnik und im Umweltschutz	731
2.6.7	Keramik im Automobil - Vision oder Wirklichkeit	732
2.6.8	Keramik im ballistischen Schutz.....	733
2.6.9	Biokeramiken für medizinische Anwendungen	735
2.6.10	Sonstige Anwendungen	736
2.7	Zusammenfassung und Ausblick	738
2.8	Weiterführende Informationen.....	740

3 Glas als Konstruktionswerkstoff	743
<i>Elvira Moeller</i>	
3.1 Charakterisierung von Glas	745
3.1.1 Chemische Zusammensetzung von Glas	745
3.1.2 Herstellung von Glas	745
3.1.3 Glasprodukte.....	746
3.1.4 Definition von Flachglasprodukten	746
3.2 Eigenschaften von Flachglas	746
3.3 Flachglas-Produkte	748
3.3.1 Isolierglas	748
3.3.1.1 Wärmedämm-Isolierglas.....	748
3.3.1.2 Sonnenschutzglas	751
3.3.1.3 Schallschutz-Isolierglas	751
3.3.2 Sicherheitsglas.....	752
3.3.2.1 Einscheibensicherheitsglas	754
3.3.2.2 Verbundsicherheitsglas	754
3.3.2.3 Brandschutzglas	755
3.3.2.4 Drahtglas	755
3.4 Konstruieren mit Glas	755
3.4.1 Structural Glazing.....	755
3.4.2 Punkthaltesystem	756
3.5 Beispielhafte Anwendungen	756
3.5.1 Weltstadthaus in Köln	757
3.5.2 Botschaft der Niederlande in Berlin	757
3.5.3 ADAC-Haus in München.....	758
3.5.4 Music Hall in Helsinki.....	759
3.5.5 Ferrari World in Abu Dhabi.....	760
3.5.6 The Reading Central in Reading	761
3.6 Zusammenfassung und Ausblick	762
3.7 Weiterführende Informationen	762
4 Polymere Verbundwerkstoffe	767
<i>Elvira Moeller</i>	
4.1 Das Prinzip faserverstärkter Kunststoffe	769
4.2 Material und Eigenschaften der Fasern	770
4.2.1 Glasfasern.....	770
4.2.2 Aramidfasern.....	771
4.2.3 Kohlenstofffasern.....	772
4.2.4 Fasern im Vergleich.....	774
4.3 Aufgabe und Eigenschaften der Matrix	774
4.3.1 Arten der Matrix.....	774
4.3.2 Härtung der Kunststoffe	776

4.4	Herstellung und Verarbeitung von Verbundwerkstoffen	776
4.4.1	Textiles Halbzeug.....	776
4.4.2	Fertigungstechniken für Verbunde.....	778
4.5	Eigenschaften von faserverstärkten Kunststoffen	779
4.5.1	Fasern im Verbund.....	779
4.5.2	Adhäsion zwischen Matrix und Faser.....	779
4.5.3	Festigkeit und Steifigkeit von Faserverbundwerkstoffen.....	780
4.6	Anwendungsbeispiele für faserverstärkte Kunststoffe	781
4.6.1	Welcome Wall.....	781
4.6.2	Kugel Radom Nippon Antenna.....	782
4.6.3	Solarkonzentratoren Mero.....	783
4.6.4	Allgemeine Anwendung im Automobilbau.....	783
4.7	Zusammenfassung und Ausblick	783
4.8	Weiterführende Informationen	784
5	Keramische Verbundwerkstoffe	787
	<i>Walter Krenkel</i>	
5.1	Einleitung	789
5.2	Herstellungsverfahren für CMC-Werkstoffe	790
5.2.1	CVI-Verfahren (Chemical Vapour Infiltration).....	791
5.2.2	LPI-Verfahren (Liquid Polymer Infiltration).....	791
5.2.3	LSI-Verfahren (Liquid Silicon Infiltration).....	792
5.2.4	Schlickerverfahren.....	792
5.3	Eigenschaften der CMC-Werkstoffe	793
5.4	Anwendungsbeispiele	798
5.5	Zusammenfassung und Ausblick	800
5.6	Weiterführende Informationen	800
6	Metallische Verbundwerkstoffe	805
	<i>Olivier Beffort</i>	
6.1	Einleitung	807
6.2	Herstellungsverfahren für MMC-Werkstoffe	807
6.2.1	Einrühren von Keramik-Partikeln.....	807
6.2.2	Infiltration von Preforms.....	808
6.2.3	Pulvermetallurgie.....	808
6.3	Eigenschaften der MMC-Werkstoffe	808
6.3.1	Elastizitätsmodul (E-Modul).....	809
6.3.2	Festigkeit.....	811

6.3.3	Wärmeausdehnung	811
6.3.4	Wärmeleitfähigkeit.....	811
6.4	Auswahlkriterien für MMC.....	813
6.4.1	Partikel verstärkte MMC (PRM)	813
6.4.2	Kurzfaser verstärkte MMC (SFRM)	813
6.4.3	Langfaser verstärkte MMC (CFRM)	814
6.4.4	Selektion von MMC nach dem Ansatz von Ashby.....	814
6.5	Anwendungsbeispiele für MMC	815
6.5.1	Strukturelle Anwendungen	815
6.5.2	Funktionelle Anwendungen	816
6.5.3	Tribo- und verschleißtechnische Anwendungen	818
6.6	Zusammenfassung und Ausblick.....	820
6.7	Weiterführende Informationen.....	821
V	Werkstoffe im Produktlebenszyklus.....	823
1	Korrosion und Korrosionsschutz.....	827
	<i>Elvira Moeller</i>	
1.1	Arten und Erscheinungsformen der Korrosion.....	829
1.1.1	Korrosionsverhalten unterschiedlicher Metalle	829
1.1.2	Einfluss des einwirkenden Mediums auf die Korrosion.....	829
1.1.3	Definition der Erscheinungsformen und Arten der Korrosion.....	831
1.2	Verfahren des Korrosionsschutzes.....	832
1.3	Korrosionsschutz durch Überzüge.....	834
1.3.1	Metallische Überzüge	834
1.3.1.1	Schmelztauchen.....	834
1.3.1.2	Thermisches Spritzen.....	835
1.3.1.3	Galvanisieren.....	835
1.3.1.4	Andere Verfahren zum Aufbringen metallischer Überzüge.....	836
1.3.1.5	Eigenschaften metallischer Überzüge	837
1.3.2	Nicht-metallische anorganische Überzüge	837
1.3.2.1	Schichtumwandelnde Verfahren.....	837
1.3.2.2	Emaillierungen	837
1.4	Korrosionsschutz durch Beschichtungen.....	838
1.4.1	Beschichtungsstoffe für die industrielle Lackierung.....	838
1.4.1.1	Aufbau von Beschichtungsstoffen	838
1.4.1.2	Produkte.....	839
1.4.1.3	Mechanismen der Filmbildung.....	841
1.4.2	Oberflächenvorbereitung und Oberflächenvorbehandlung	843
1.4.3	Applikation von Beschichtungsstoffen	844
1.4.3.1	Tauchen und Walzen.....	844

1.4.3.2	Spritzlackierung	845
1.4.3.3	Pulverbeschichtung	846
1.4.4	Aufbau und Eigenschaften von Beschichtungssystemen	846
1.4.4.1	Schichtfolge in Beschichtungssystemen.....	846
1.4.4.2	Auswahl der Beschichtungssysteme	847
1.4.4.3	Beschichtungssysteme für atmosphärische Umgebungsbedingungen	847
1.4.4.4	Beschichtungssysteme für den Stahlwasserbau.....	848
1.4.4.5	Duplex-Systeme	849
1.4.4.6	Eigenschaften der Beschichtungen.....	849
1.4.5	Schichtdicke als Qualitätsfaktor	850
1.5	Anwendungsbeispiele	850
1.5.1	Feuerverzinkung am Parkregal Sindelfingen.....	850
1.5.2	Galvanisierung von Einzelteilen oder Schüttgut	850
1.5.3	Emallierung eines Lagertanks.....	851
1.5.4	Automobil-Lackierung	852
1.5.5	Stahlhochbau	852
1.5.6	Stahlwasserbau.....	853
1.5.7	Schiffbau	853
1.5.8	Pipe Coatings.....	853
1.5.9	Großfahrzeuge	854
1.6	Zusammenfassung und Ausblick	854
1.7	Weiterführende Informationen.....	855
2	Schadensfälle mit Eisenwerkstoffen	859
	<i>Andreas Neidel</i>	
2.1	Einleitung.....	861
2.2	Bruch einer Ventilspindel eines Erdgas-Schnellschlussventils an einer Gasturbine	862
2.3	Schaden an einem Dämpfungsbolzen	864
2.4	Abgerissene Heizölleitung eines Brenners	868
2.5	Spannungsrissskorrosion einer Rohrverschraubung.....	870
2.6	Adhäsionsverschleiß der Paarung Welle/Lagerbuchse eines Ventiltriebs.....	872
2.7	Thermoermüdungsrisse in Hitzeschildplatten von Gasturbinen	875
2.8	Weiterführende Informationen.....	878
3	Recyclingtechnik.....	881
	<i>Hans Martens</i>	
3.1	Zielstellung für das Recycling.....	883
3.2	Technische Grundlagen des Recyclings von Konstruktionswerkstoffen	884

3.3	Auftrennung von Werkstoffverbunden und Sortierung der Werkstoffe	886
3.3.1	Demontage	886
3.3.2	Aufschlusszerkleinerung.....	886
3.3.3	Sortierung von Werkstoffen.....	886
3.3.4	Physikalische, chemische und thermische Verfahren der Werkstofftrennung oder Altstoffvorbehandlung	889
3.4	Recycling von metallischen Werkstoffen	890
3.4.1	Allgemeine Verfahrenstechnik des Metallrecyclings	890
3.4.1.1	Reinigung von Metallschmelzen.....	891
3.4.1.2	Bildung und Funktion von Schlacken.....	891
3.4.1.3	Abgase und Flugstäube	892
3.4.2	Recycling von Eisenwerkstoffen	892
3.4.2.1	Stahlerzeugung aus Schrotten.....	893
3.4.2.2	Schrottverarbeitung zu Eisengusswerkstoffen	894
3.4.2.3	Allgemeine Anforderungen an Stahl- und Eisengusschrotte	894
3.4.3	Recycling von Aluminium- und Magnesiumwerkstoffen	894
3.4.3.1	Recyclingeigenschaften von Aluminium	894
3.4.3.2	Aufbereitung von Al-Schrotten	895
3.4.3.3	Schmelzverfahren für Al-Schrotte	895
3.4.3.4	Recycling von Magnesium-Werkstoffen.....	896
3.4.4	Recycling von Kupfer- und Nickelwerkstoffen.....	896
3.4.4.1	Recyclingeigenschaften von Kupfer.....	896
3.4.4.2	Aufbereitung der Cu-Schrotte	897
3.4.4.3	Verarbeitung von Cu-Schrotten und Gewinnung von Begleitmetallen.....	897
3.4.4.4	Recycling von Nickel.....	899
3.4.5	Recycling von Zinkwerkstoffen und zinkreichen Stäuben	900
3.4.5.1	Umschmelzen und Raffination von Zn-Schrotten und Krätzen	900
3.4.5.2	Zn-Recycling aus Stahlwerks- und Kupolofenstäuben	900
3.4.6	Recycling von Edelmetallen	901
3.4.6.1	Aufbereitung von Edelmetallschrotten und edelmetallhaltigen Abfällen	901
3.4.6.2	Recycling von Edelmetallwerkstoffen.....	901
3.4.7	Recycling von Titan- und Tantalwerkstoffen	902
3.5	Recycling von Kunststoffen	902
3.5.1	Recyclingeigenschaften von Kunststoffen	902
3.5.2	Werkstoffrecycling von Thermoplasten	904
3.5.3	Werkstoffrecycling von Duroplasten	904
3.5.4	Werkstoffrecycling von Elastomeren	904
3.5.5	Rohstoffrecycling von Kunststoffen	905
3.5.6	Energetische Verwertung von Kunststoffen	905
3.6	Recycling von Glaswerkstoffen	906
3.6.1	Recyclingeigenschaften von Altglas	906
3.6.2	Mechanische Aufbereitung von Altglas und Fremdscherben	907
3.7	Schlussfolgerungen für einen recyclinggerechten Werkstoffeinsatz und eine recyclinggerechte Produktentwicklung	908
3.8	Weiterführende Informationen	910

VI Werkstoffe als Innovationstreiber	913
1 Innovationen mit Stahl	917
<i>Elvira Moeller</i>	
1.1 Allgemeine Entwicklungstendenzen	919
1.2 Produkte aus Stahl	919
1.2.1 Mobiles Hochwasserschutzsystem	919
1.2.2 Abrollcontainer in gewichtsoptimierter Bauweise	920
1.2.3 Wälzgelagerte Leichtbau-Ausgleichswelle.....	921
1.2.4 Nockenwelle für Verbrennungsmotoren.....	922
1.2.5 Fliehkraftpendel als Weiterentwicklung des Zweimassenschwungrades.....	923
1.2.6 Kettensystem mit erhöhter Tragfähigkeit.....	923
1.3 Stahl in Forschung und Entwicklung	925
1.3.1 Laserschweißregelung in Echtzeit.....	925
1.3.2 Dreidimensionales Profilbiegen mit induktiver Erwärmung	926
1.3.3 Crofer® 22 H - neuer Werkstoff für die Brennstoffzelle von morgen.....	927
1.3.4 Hochmanganhaltige TRIPLEX-Leichtbaustähle	927
1.3.5 Sheet Cast Disc - neuartige Verbundbremsscheibe.....	928
1.3.6 Klettverschlüsse aus Stahl.....	929
1.4 Stahl für das Bauen	930
1.4.1 Selbsttragende Dachschaale St. Antony Hütte	930
1.4.2 Dach der Martin-Luther-Kirche in Hainburg.....	931
1.4.3 Spannbandbrücke als begehbare Kunstwerk - Slinky springs to fame	933
1.4.4 Fußbodensystem aus Stahlblech	934
1.4.5 Stahlverbundbrücke über die A73.....	935
1.5 Stahl für den Klimaschutz	936
1.5.1 Gasturbine mit hohem Wirkungsgrad.....	936
1.5.2 Venturi-Edelstahl-Sonde	937
2 Transparente Keramik – ein vielversprechender Werkstoff	941
<i>Hans Hoppert</i>	
2.1 Transparente Keramikwerkstoffe	943
2.2 Fertigungstechnologien	943
2.3 Optische und mechanische Eigenschaften	944
2.4 Physikalische Eigenschaften	946
2.5 Markt für Transparente Keramik	946
2.6 Weiterführende Informationen	947

3	Keramische Werkstoffe in Betonmischern	951
	<i>Hans Hoppert und Heinz Michalik</i>	
3.1	Verschleiß in Betonmischern	953
3.2	Verschleißschutz in Betonmischern	953
3.2.1	Auswahl der optimalen Verschleißschutzwerkstoffe.....	953
3.2.2	Einfluss der verwendeten Rohstoffe.....	954
3.3	Konstruktive und verfahrenstechnische Parameter	956
3.3.1	Mischerauskleidungen mit Al ₂ O ₃ -Keramik.....	956
3.3.2	Auswahl der Mischwerkzeuge.....	957
3.3.3	Verfahrenstechnische Maßnahmen.....	957
3.4	Zusammenfassung	959
3.5	Weiterführende Informationen	960
4	WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft	963
	<i>Elvira Moeller</i>	
4.1	Werkstoffentwicklung für die Zukunft	965
4.1.1	Materialien mit Ressourceneffizienz.....	966
	<i>(Vortragender: Hans-Wilhelm Engels)</i>	
4.1.2	Strategien zur Steigerung der Rohstoff- und Energieeffizienz.....	967
	<i>(Vortragender: Martin Faulstich)</i>	
4.1.3	Steigerung von Wirkungsgraden und Verringerung der Materialeinsatzfaktoren durch die Entwicklung neuer Werkstoffe.....	968
	<i>(Vortragender: Volker Güther)</i>	
4.1.4	Energieeinsparung in der Zementindustrie durch Feuerfestfunktionswerkstoffe.....	968
	<i>(Vortragender: Tobias Hölscher)</i>	
4.1.5	Korrosionsschutz zur Steigerung der Ressourceneffizienz.....	969
	<i>(Vortragender: Michael Schütze)</i>	
4.1.6	Bedeutung des Recyclings für die Verfügbarkeit von strategischen Metallen.....	970
	<i>(Vortragender: Christian Hagelüken)</i>	
4.1.7	Multimaterialsysteme im Fahrzeugbau.....	972
	<i>(Vortragender: Martin Goede)</i>	
4.1.8	Funktionsintegrierter Leichtbau für Fahrzeugstrukturen.....	972
	<i>(Vortragender: Hans-Jürgen Karkosch)</i>	
4.1.9	Energieeffiziente Herstellung von hybriden Leichtbaustrukturen mit integrierten Funktionselementen.....	973
	<i>(Vortragender: Norbert Müller)</i>	
4.1.10	Carbonfasertechnologie im globalen Wettbewerb.....	974
	<i>(Vortragender: Hubert Jäger)</i>	
4.1.11	Leichte und hochbelastbare Metalle durch Verstärkung mit CNTs.....	975
	<i>(Vortragende: Blanka Lenczowski)</i>	
4.1.12	Materialien für hocheffiziente Flugzeugtriebwerke.....	976
	<i>(Vortragender: Jörg EBlinger)</i>	
4.1.13	Entwicklung von Höchstleistungswerkstoffen für Hochtemperatur-Wärmeübertrager und Pkw-Abgasanlagen – Ferrit950.....	977
	<i>(Vortragende: Gabriele Brückner)</i>	

4.2 Autoren/Projektleiter	977
4.3 Weitere Informationen.....	978
Anhang	979
Kennwerte von Werkstoffen	981
Verzeichnis	987
Index	989