

Andreas Kalweit, Christof Paul, Dr. Sascha Peters, Reiner Wallbaum
Herausgeber

Handbuch für Technisches Produktdesign

Material und Fertigung
Entscheidungsgrundlagen für Designer und Ingenieure

 Springer

VDI

INHALT

IMPRESSUM	3
VORWORTE	4
EINLEITUNG	6
INHALTSVERZEICHNIS	8
MET METALLE	19
MET 1 Charakteristika und Materialeigenschaften.....	21
MET 1.1 Zusammensetzung und Struktur.....	21
MET 1.2 Physikalische Eigenschaften.....	23
MET 1.3 Mechanische Eigenschaften.....	23
MET 1.4 Chemische Eigenschaften.....	23
MET 2 Prinzipien und Eigenheiten der Metallverarbeitung.....	24
MET 3 Vorstellung einzelner Metallsorten.....	25
MET 3.1 Eisenwerkstoffe.....	26
MET 3.1.1 Eisenwerkstoffe – Gusseisen.....	30
MET 3.1.2 Eisenwerkstoffe – Stahl.....	31
MET 3.1.3 Eisenwerkstoffe – Edelstahl.....	35
MET 3.2 Nichteisenleichtmetalle.....	36
MET 3.2.1 Nichteisenleichtmetalle – Aluminiumlegierungen.....	36
MET 3.2.2 Nichteisenleichtmetalle – Magnesiumlegierungen.....	37
MET 3.2.3 Nichteisenleichtmetalle – Titanlegierungen.....	38
MET 3.3 Nichteisenschwermetalle.....	39
MET 3.3.1 Nichteisenschwermetalle – Kupferlegierungen.....	39
MET 3.3.2 Nichteisenschwermetalle – Bronze.....	41
MET 3.3.3 Nichteisenschwermetalle – Messing.....	42
MET 3.3.4 Nichteisenschwermetalle – Zinklegierungen.....	43
MET 3.3.5 Nichteisenschwermetalle – Zinnlegierungen.....	44
MET 3.3.6 Nichteisenschwermetalle – Nickellegierungen.....	45
MET 3.3.7 Nichteisenschwermetalle – Blei.....	46
MET 3.3.8 Nichteisenschwermetalle – Chrom.....	47
MET 3.4 Edelmetalle.....	48
MET 3.4.1 Edelmetalle – Gold.....	48
MET 3.4.2 Edelmetalle – Silber.....	50
MET 3.4.3 Edelmetalle – Platin.....	52
MET 3.5 Halbmetalle – Silizium.....	53
MET 4 Eigenschaftsprofile der wichtigsten Metallwerkstoffe.....	54
MET 5 Besonderes und Neuheiten im Bereich der Metalle.....	56
MET 5.1 Metallschaum.....	56
MET 5.2 Formgedächtnislegierungen (shape memory alloys).....	57
MET 5.3 Metallische Gläser (amorphe Metalle).....	58
MET Literatur.....	59
KUN KUNSTSTOFFE	61
KUN 1 Charakteristika und Materialeigenschaften.....	63
KUN 1.1 Zusammensetzung und Struktur.....	63
KUN 1.2 Einteilung der Kunststoffe.....	64
KUN 1.3 Physikalische Eigenschaften.....	65
KUN 1.4 Mechanische Eigenschaften.....	66
KUN 1.5 Chemische Eigenschaften.....	66
KUN 1.6 Additive und Faserzumischung.....	66

KUN 2	Prinzipien und Eigenheiten der Kunststoffverarbeitung.....	69
KUN 2.1	Herstellung einer Silikonform	70
KUN 2.2	Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Kunststoffe.....	71
KUN 2.3	Kunststoffrecycling	73
KUN 3	Kunststoffgerechte Konstruktion	75
KUN 4	Vorstellung einzelner Kunststoffe	77
KUN 4.1	Thermoplaste	77
KUN 4.1.1	Thermoplaste – Polyethylen (PE).....	77
KUN 4.1.2	Thermoplaste – Polypropylen (PP)	78
KUN 4.1.3	Thermoplaste – Polystyrol (PS)	79
KUN 4.1.4	Thermoplaste – Polycarbonat (PC)	81
KUN 4.1.5	Thermoplaste – Polyvinylchlorid (PVC).....	82
KUN 4.1.6	Thermoplaste – Polyamid (PA)	83
KUN 4.1.7	Thermoplaste – Polymethylmethacrylat (PMMA).....	84
KUN 4.1.8	Thermoplaste – Polyoxymethylen/ Polyacetal (POM).....	85
KUN 4.1.9	Thermoplaste – Fluorpolymere	86
KUN 4.1.10	Thermoplaste – Polyester	87
KUN 4.1.11	Thermoplaste – Zelluloseester	88
KUN 4.1.12	Thermoplaste – Polyimide	89
KUN 4.1.13	Thermoplaste – Polymerblends	92
KUN 4.2	Duroplaste	93
KUN 4.2.1	Duroplaste – Polyesterharze	93
KUN 4.2.2	Duroplaste – Epoxidharze (EP)	94
KUN 4.2.3	Duroplaste – Phenolharze (PF)	95
KUN 4.2.4	Duroplaste – Aminoplaste	96
KUN 4.2.5	Duroplaste/Elastomere – Polyurethan (PUR).....	97
KUN 4.3	Elastomere	98
KUN 4.3.1	Elastomere – Gummi-Elastomere	98
KUN 4.3.2	Elastomere – Silikone	101
KUN 4.3.3	Elastomere – Thermoplastische Elastomere (TPE).....	102
KUN 4.4	Polymerschäume	103
KUN 4.5	Faserverstärkte Kunststoffe	104
KUN 4.6	Teilchenverstärkte Kunststoffe	105
KUN 5	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Kunststoffe	106
KUN 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich der Kunststoffe.....	108
KUN 6.1	Elektrizität leitende Kunststoffe (Polymerelektronik).....	108
KUN 6.2	Biokompatible Kunststoffe	109
KUN 6.3	Biokunststoffe	110
KUN 6.4	Hochtemperaturbeständige Kunststoffe	111
KUN	Literatur	112
KER	KERAMIKEN	115
KER 1	Charakteristika und Materialeigenschaften	118
KER 1.1	Einteilung keramischer Werkstoffe	118
KER 1.2	Bindungstyp und Eigenschaftsprofil	121
KER 2	Prinzipien und Eigenheiten der Verarbeitung von Keramiken.....	122
KER 2.1	Aufbereitung der Ausgangsmaterialien	122
KER 2.2	Formen silikatkeramischer Tonmassen	122
KER 2.3	Formen pulverbasierter keramischer Ausgangsmassen	124
KER 2.4	Brandvorbereitung	125
KER 2.5	Hochtemperaturprozess	125
KER 2.6	Oberflächenveredelung	125
KER 2.7	Fügen keramischer Bauteile	127
KER 3	Keramikgerechte Gestaltung	128
KER 4	Vorstellung einzelner keramischer Werkstoffe.....	130
KER 4.1	Silikatkeramik – Porzellan.....	130

KER 4.2	Silikatkeramik – Steinzeug und keramische Baustoffe.....	133
KER 4.3	Silikatkeramik – Irdenware.....	136
KER 4.4	Hochleistungssilikatkeramik.....	137
KER 4.5	Oxidkeramik – Aluminiumoxid.....	138
KER 4.6	Oxidkeramik – Zirkondioxid.....	139
KER 4.7	Nichtoxidkeramik – Siliziumkarbid.....	140
KER 4.8	Nichtoxidkeramik – Siliziumnitrid.....	141
KER 4.9	Keramische Beschichtungen.....	142
KER 5	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Keramiken.....	143
KER 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich keramischer Werkstoffe.....	144
KER 6.1	Keramikschaum.....	144
KER 6.2	Biokeramiken.....	145
KER 6.3	Biomorphe Keramik.....	146
KER 6.4	Porzellanfolien.....	147
KER	Literatur.....	148
HOL	HÖLZER	151
HOL 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	153
HOL 1.1	Holzarten und deren Einteilung.....	153
HOL 1.2	Zusammensetzung und Struktur.....	153
HOL 1.3	Physikalische Eigenschaften.....	155
HOL 1.4	Mechanische Eigenschaften.....	156
HOL 2	Prinzipien und Eigenheiten der Holzverarbeitung.....	158
HOL 2.1	Materialaufbereitung.....	158
HOL 2.2	Fügen von Holz.....	159
HOL 2.3	Biegen von Holz.....	161
HOL 2.4	Oberflächenbehandlung.....	162
HOL 3	Holzwerkstoffe.....	164
HOL 3.1	Massivhölzer.....	164
HOL 3.2	Furniere.....	166
HOL 3.2.1	Besondere Furnierhölzer.....	167
HOL 3.3	Lagenholz.....	170
HOL 3.3.1	Lagenholz – Furnierplatten (Sperrholz).....	170
HOL 3.3.2	Lagenholz – Besondere Furnierplatten.....	171
HOL 3.3.3	Lagenholz – Schichtholz.....	172
HOL 3.3.4	Lagenholz – Besonderes Schichtholz.....	172
HOL 3.3.5	Lagenholz – Kunstharzpressholz.....	172
HOL 3.4	Verbundplatten.....	173
HOL 3.4.1	Besondere Verbundplatten.....	173
HOL 3.5	Holzspan- und Holzfaserplatten.....	174
HOL 3.5.1	Besondere Holzspan- und -faserplatten.....	175
HOL 3.6	Biegbare Werkstoffplatten.....	178
HOL 4	Vorstellung einzelner Holzarten.....	179
HOL 5	Ersatzholzarten und Besonderes im Bereich der Hölzer.....	184
HOL 5.1	Flüssigholz.....	184
HOL 5.2	Engineered Wood Products.....	185
HOL 5.3	Kork.....	186
HOL 5.4	Rindentuch.....	187
HOL	Literatur.....	188
PAP	PAPIERE	191
PAP 1	Charakteristika und Herstellungsprozess.....	193
PAP 1.1	Zusammensetzung und Struktur.....	193

PAP 1.2	Herstellungsprozess von Papier	194
PAP 1.3	Papiereigenschaften	197
PAP 1.3.1	Laufrichtung	197
PAP 1.3.2	Hygroskopie	198
PAP 1.3.3	Festigkeit	198
PAP 1.3.4	Alterungsbeständigkeit	198
PAP 2	Prinzipien und Eigenheiten der Papierveredelung und -verarbeitung	199
PAP 2.1	Imprägnieren	199
PAP 2.2	Lackieren und Bedrucken	199
PAP 2.3	Kaschieren	199
PAP 2.4	Falzen	200
PAP 3	Vorstellung einzelner Papiere, Kartons und Pappen	200
PAP 4	Papierformate und Maßeinheiten	204
PAP 5	Besonderes und Neuheiten im Bereich von Papier, Karton und Pappe	205
PAP 5.1	Papiertextilien	205
PAP 5.2	Papier im Wohnbereich	206
PAP 5.3	Papier in der Architektur	207
PAP 5.4	Kartonage im Flugzeugbau	208
PAP 5.5	Papierschaum	208
PAP	Literatur	209
GLA	GLÄSER	211
GLA 1	Charakteristika und Herstellung	214
GLA 1.1	Struktur und Eigenschaften von Gläsern	214
GLA 1.2	Besondere Kenngrößen für Glaswerkstoffe	215
GLA 1.3	Einteilung der unterschiedlichen Glassorten	216
GLA 1.4	Zusammensetzung und Herstellung	217
GLA 2	Prinzipien und Eigenheiten der Glasherstellung- und -verarbeitung	218
GLA 2.1	Verfahren der Glasherstellung	218
GLA 2.1.1	Floatverfahren	218
GLA 2.1.2	Gussglasverfahren	219
GLA 2.1.3	Ziehverfahren	220
GLA 2.1.4	Mundblasverfahren	220
GLA 2.1.5	Maschinelle Blasverfahren	221
GLA 2.1.6	Pressen	222
GLA 2.2	Prinzipien der Glasverarbeitung	222
GLA 2.2.1	Zerspanende Glasbearbeitung	222
GLA 2.2.2	Umformende Glasbearbeitung	224
GLA 2.2.3	Fügen	225
GLA 2.2.4	Oberflächenbehandlung und -beschichtung	226
GLA 2.2.5	Herstellung von Spiegelflächen	227
GLA 2.2.6	Entspiegelte Gläser	228
GLA 3	Vorstellung einzelner Glaswerkstoffe	229
GLA 3.1	Kalknatronglas	229
GLA 3.2	Borosilikatglas	230
GLA 3.3	Bleiglas	231
GLA 3.4	Kieselglas (Quarzglas)	232
GLA 3.5	Glaskeramik	233
GLA 3.6	Naturläser	234
GLA 3.7	Obsidian	235
GLA 4	Spezialgläser	236
GLA 4.1	Sicherheitsgläser	236
GLA 4.2	Schutzgläser	238
GLA 4.3	Bauglas – Glasbausteine	240
GLA 4.4	Bauglas – Profilbaugläser	241

GLA 4.5	Bauglas – Glaswolle	242
GLA 4.6	Bauglas – Schaumglas	243
GLA 4.7	Glasfasern	244
GLA 5	Eigenschaftsprofile wichtiger Glaswerkstoffe.....	245
GLA 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich der Gläser.....	246
GLA 6.1	Bioglas	246
GLA 6.2	Dünngläser	246
GLA 6.3	Selbstreinigende Gläser	248
GLA 6.3	Intelligente Gläser.....	249
GLA	Literatur.....	250
TEX	TEXTILIEN	253
TEX 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	255
TEX 1.1	Einteilung textiler Werkstoffe.....	255
TEX 1.2	Eigenschaften textiler Werkstoffe.....	256
TEX 1.3	Internationale Größentabellen für Bekleidungen.....	257
TEX 1.4	Textilpflegekennzeichnung	257
TEX 2	Textilprodukte und ihre Herstellung	258
TEX 2.1	Fadenherstellung	258
TEX 2.2	Textile Flächen und Strukturen	262
TEX 2.2.1	Textile Flächen und Strukturen – Gewebe.....	264
TEX 2.2.2	Textile Flächen und Strukturen – Vlies, Filz.....	266
TEX 2.2.3	Textile Flächen und Strukturen – Maschenware	267
TEX 2.2.4	Textile Flächen und Strukturen – Nähwirkware, Tufting, Lamine.....	269
TEX 3	Prinzipien der Textilienveredelung	270
TEX 4	Vorstellung einzelner Textilfasern	273
TEX 4.1	Pflanzliche Naturfasern.....	273
TEX 4.1.1	Pflanzliche Naturfasern – Baumwolle.....	273
TEX 4.1.2	Pflanzliche Naturfasern – Kapok.....	273
TEX 4.1.3	Pflanzliche Naturfasern – Leinen (Flachs).....	274
TEX 4.1.4	Pflanzliche Naturfasern – Hanf.....	274
TEX 4.1.5	Pflanzliche Naturfasern – Jute.....	275
TEX 4.1.6	Pflanzliche Naturfasern – Ramie.....	275
TEX 4.1.7	Pflanzliche Naturfasern – Sisal.....	276
TEX 4.1.8	Pflanzliche Naturfasern – Manila.....	276
TEX 4.1.9	Pflanzliche Naturfasern – Kokos.....	277
TEX 4.2	Tierische Naturfasern	277
TEX 4.2.1	Tierische Naturfasern – Wolle	277
TEX 4.2.2	Tierische Naturfasern – Seide	279
TEX 4.3	Zellulosefasern	280
TEX 4.3.1	Zellulosefasern – Viskose, Modal	280
TEX 4.3.2	Zellulosefasern – Lyocell.....	280
TEX 4.3.3	Zellulosefasern – Cupro.....	281
TEX 4.3.4	Zellulosefasern – Acetat, Triacetat	281
TEX 4.4	Synthesefasern	282
TEX 4.4.1	Synthesefasern – Polyamid.....	282
TEX 4.4.2	Synthesefasern – Aramid.....	282
TEX 4.4.3	Synthesefasern – Polyester.....	283
TEX 4.4.4	Synthesefasern – Polyurethan.....	283
TEX 4.4.5	Synthesefasern – Polyacryl.....	284
TEX 4.4.6	Synthesefasern – Polytetrafluorethylen.....	284
TEX 4.4.7	Synthesefasern – Polyvinylchlorid.....	285
TEX 4.4.8	Synthesefasern – Polyolefine.....	285
TEX 4.5	Anorganische Chemiefasern	286
TEX 4.6	Hochleistungsfasern für technische Textilien	287
TEX 4.7	Leder.....	288
TEX 4.8	Pelz.....	289

TEX 5	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Faserwerkstoffe und Verwendung.....	290
TEX 6	Verwendungsbereiche und Innovationsfelder technischer Textilien.....	292
TEX 6.1	Schutz- und Sicherheitstextilien.....	292
TEX 6.2	Intelligente Textilien (smart textiles).....	293
TEX 6.3	Sport- und Fahrzeugtextilien.....	294
TEX 6.4	Bautextilien.....	295
TEX 6.5	Medizintextilien.....	296
TEX	Literatur.....	297
MIN	MINERALISCHE WERKSTOFFE UND NATURSTEINE.....	299
MIN 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	302
MIN 1.1	Zusammensetzung und Struktur.....	302
MIN 1.2	Eigenschaften.....	305
MIN 1.3	Einteilung natürlicher Gesteine.....	307
MIN 1.4	Industriesteine und Gesteinswerkstoffe.....	311
MIN 2	Prinzipien und Eigenheiten der Verarbeitung mineralischer Werkstoffe.....	312
MIN 3	Konstruktionsregeln für Natursteinmauerwerke.....	314
MIN 4	Vorstellung wichtiger Gesteinswerkstoffe.....	317
MIN 4.1	Mineralien.....	317
MIN 4.1.1	Mineralien – Siliziumdioxide.....	317
MIN 4.1.2	Mineralien – Silikate.....	318
MIN 4.1.3	Mineralien – Sulfate.....	320
MIN 4.1.4	Mineralien – Oxide.....	321
MIN 4.1.5	Mineralien – Karbonate.....	321
MIN 4.1.6	Mineralien – Ton.....	322
MIN 4.2	Magmages Steine.....	323
MIN 4.2.1	Magmages Steine – Tiefengesteine.....	323
MIN 4.2.2	Magmages Steine – Erdgussgesteine.....	324
MIN 4.3	Metamorphe Gesteine.....	325
MIN 4.3.1	Metamorphe Gesteine – Gneise, Serpentin, Dachschiefer.....	325
MIN 4.3.2	Metamorphe Gesteine – Marmor.....	326
MIN 4.4	Sedimentgesteine.....	327
MIN 4.4.1	Sedimentgesteine – Kalksteine, Dolomite, Kreide.....	327
MIN 4.4.2	Sedimentgesteine – Sandsteine.....	328
MIN 4.4.3	Sedimentgesteine – Lehm.....	330
MIN 4.5	Natursteine.....	332
MIN 4.5.1	Natursteine – Edel- und Schmucksteine.....	332
MIN 4.5.2	Natursteine – Kohlewerkstoffe.....	334
MIN 4.6	Mineralische Bindemittel.....	335
MIN 4.7	Mörtel.....	337
MIN 4.8	Beton.....	338
MIN 4.9	Bitumenhaltige Werkstoffe.....	340
MIN 4.10	Industriesteine mit mineralischem Binder.....	341
MIN 4.11	Harzgebundene Industriesteine.....	344
MIN 5	Eigenschaftsprofile wichtiger mineralischer Werkstoffe und Natursteine.....	345
MIN 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich mineralischer Werkstoffe.....	346
MIN 6.1	Lichtdurchlässiger Beton.....	346
MIN 6.2	Synthetische Diamanten.....	347
MIN 6.3	Shimizu Megacity – Pyramidenstadt aus Graphit-Nanotubes.....	347
MIN	Literatur.....	348
VER	VERBUNDWERKSTOFFE.....	351
VER 1	Einteilung und Aufbau.....	352

VER 2	Vorstellung einzelner Verbundwerkstoffe	353
VER 2.1	Hartmetalle	353
VER 2.2	Bimetalle	354
VER 2.3	Verbundrohre	354
VER 2.4	Getränkeverbundverpackung	355
VER	Literatur	355
FOR	FORMEN UND GENERIEREN	359
FOR 1	Urformen – Gießen	361
FOR 1.1	Gießen – Gestaltungsregeln	364
FOR 1.2	Gießen – Spritzgießen	367
FOR 1.3	Gießen – Feingießen	371
FOR 1.4	Gießen – Druckgießen	372
FOR 1.5	Gießen – Gießen unter Vakuum	373
FOR 1.6	Gießen – Schleuder- und Rotationsgießen	374
FOR 1.7	Gießen – Stranggießen	375
FOR 1.8	Gießen – Polymergießen	376
FOR 2	Urformen – Sintern	376
FOR 2.1	Sintern – Gestaltungsregeln	378
FOR 3	Urformen – Schäumen	379
FOR 4	Urformen – Extrudieren	380
FOR 4.1	Extrudieren – Gestaltungsregeln	382
FOR 5	Urformen – Blasformen	382
FOR 5.1	Blasformen – Gestaltungsregeln	384
FOR 5.2	Blasformen – Maschinelles Glasblasformen	385
FOR 5.3	Blasformen – polymerer Werkstoffe	386
FOR 6	Druckumformen	387
FOR 6.1	Druckumformen – Einpressen	387
FOR 6.2	Druckumformen – Walzen	387
FOR 6.3	Druckumformen – Schmieden	389
FOR 6.3.1	Schmieden – Gestaltungsregeln	390
FOR 6.4	Druckumformen – Pressformen	392
FOR 6.5	Druckumformen – Fließpressen	393
FOR 6.6	Druckumformen – Strangpressen	396
FOR 7	Zugdruckumformen	397
FOR 7.1	Zugdruckumformen – Tiefziehen	397
FOR 7.2	Zugdruckumformen – Durchziehen	399
FOR 7.3	Ziehen – Gestaltungsregeln	400
FOR 7.4	Zugdruckumformen – Innenhochdruckformen	401
FOR 7.5	Zugdruckumformen – Drücken	402
FOR 7.6	Zugdruckumformen – Wölbstrukturieren	403
FOR 8	Zugumformen – Streckziehen	404
FOR 9	Biegen	405
FOR 9.1	Biegen – Gestaltungsregeln	407
FOR 10	Generative Verfahren	408
FOR 10.1	Gestaltungsregeln und Prototypenarten	409
FOR 10.2	Generative Verfahren – Stereolithographie (SL)	411
FOR 10.3	Generative Verfahren – Lasersintern (LS)	412
FOR 10.4	Generative Verfahren – Lamine-Verfahren	413
FOR 10.5	Generative Verfahren – Extrusionsverfahren	414
FOR 10.6	Generative Verfahren – 3D-Printing (3D-P)	415
FOR 10.7	Auswahl generativer Techniken	416

FOR	Literatur	418
TRE	TRENNEN UND SUBTRAHIEREN	421
TRE 1	Zerspanen	423
TRE 1.1	Zerspanen – Strahlen	426
TRE 1.2	Zerspanen – Schleifen	427
TRE 1.2.1	Schleifen – Gestaltungsregeln	430
TRE 1.3	Zerspanen – Polieren	431
TRE 1.4	Zerspanen – Sägen	432
TRE 1.5	Zerspanen – Drehen	433
TRE 1.5.1	Drehen – Gestaltungsregeln	435
TRE 1.6	Zerspanen – Fräsen	436
TRE 1.6.1	Fräsen – Gestaltungsregeln	439
TRE 1.7	Zerspanen – Bohren	440
TRE 1.7.1	Bohren – Gestaltungsregeln	443
TRE 1.8	Zerspanen – Räumen, Hobeln, Stoßen	444
TRE 1.8.1	Räumen, Hobeln, Stoßen – Gestaltungsregeln	444
TRE 1.9	Zerspanen – Honen	446
TRE 1.10	Zerspanen – Läppen	447
TRE 2	Schneiden	448
TRE 2.1	Schneiden – Scherschneiden	448
TRE 2.1.1	Scherschneiden, Stanzen – Gestaltungsregeln	450
TRE 2.2	Schneiden – Strahlschneiden	452
TRE 2.3	Schneiden – Thermoschneiden	454
TRE 3	Abtragen	455
TRE 3.1	Abtragen – Funkenerosives Abtragen (EDM)	458
TRE 3.2	Abtragen – Laserabtragen und -strukturieren	459
TRE 3.3	Abtragen – Chemisches Abtragen (Ätzen)	461
TRE 3.4	Abtragen – Beizen	462
TRE 3.5	Abtragen – Elektrochemisches Abtragen (ECM)	463
TRE	Literatur	464
FUE	FÜGEN UND VERBINDEN	467
FUE 1	An-/Einpress- und Schnappverbindungen	469
FUE 1.1	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Pressverbindungen	469
FUE 1.2	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Schnappverbindungen	470
FUE 1.2.1	Schnappverbindungen – Gestaltungsregeln	471
FUE 1.3	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Nieten	472
FUE 1.3.1	Nieten – Gestaltungsregeln	473
FUE 1.4	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Schrauben	474
FUE 1.4.1	Schrauben – Gestaltungsregeln	475
FUE 2	Fügen durch Einbetten und Ausgießen	477
FUE 3	Fügen durch Umformen	480
FUE 4	Kleben	481
FUE 4.1	Klebstoffarten	482
FUE 4.2	Kleben – Gestaltungsregeln	485
FUE 5	Schweißen	486
FUE 5.1	Schweißen – Gestaltungsregeln	487
FUE 5.2	Schweißen – Widerstandspunktschweißen	489
FUE 5.3	Schweißen – Lichtbogenhandschweißen	490
FUE 5.4	Schweißen – Schutzgasschweißen	491
FUE 5.5	Schweißen – Gasschmelzschweißen	492
FUE 5.6	Schweißen – Warmgasschweißen	493
FUE 5.7	Schweißen – Laserschweißen	494

FUE 5.8	Schweißen – Reibschweißen	495
FUE 5.9	Schweißen – Ultraschallschweißen	496
FUE 5.10	Schweißen – Heizelementeschweißen	497
FUE 6	Löten	498
FUE 6.1	Löten – Lötverfahren	499
FUE 6.2	Löten – Gestaltungsregeln	501
FUE 7	Nähen, Stricken, Weben	502
FUE 8	Wirtschaftlichkeit verschiedener Fügeverfahren und deren Kombinationen	503
FUE	Literatur	504
BES	BESCHICHTEN UND VEREDELN	507
BES 1	Beschichten aus flüssigem Zustand	509
BES 1.1	Beschichten aus flüssigem Zustand – Spritzen	509
BES 1.2	Beschichten aus flüssigem Zustand – Elektrostatisches Lackieren	510
BES 1.3	Beschichten aus flüssigem Zustand – Tauchen	511
BES 1.4	Beschichten aus flüssigem Zustand – Siebdruck	512
BES 1.5	Beschichten aus flüssigem Zustand – Tampondruck	516
BES 1.6	Beschichten aus flüssigem Zustand – Emaillieren (Glasieren)	517
BES 2	Dekorationsverfahren	518
BES 2.1	Dekorationsverfahren – Wassertransferdruck	518
BES 2.2	Dekorationsverfahren – Heißprägen	519
BES 2.3	Dekorationsverfahren – In-Mold Decoration	520
BES 3	Beschichten aus breiigem Zustand – Putzen	521
BES 4	Beschichten aus festem Zustand	522
BES 4.1	Beschichten aus festem Zustand – Thermisches Spritzen	522
BES 4.2	Beschichten aus festem Zustand – Pulverbeschichten	523
BES 4.3	Beschichten aus festem Zustand – Elektrostatisches Pulverbeschichten	524
BES 4.4	Beschichten aus festem Zustand – Wirbelsintern	525
BES 5	Beschichten durch Schweißen und Löten	526
BES 5.1	Beschichten durch Schweißen und Löten – Auftragschweißen	526
BES 5.2	Beschichten durch Schweißen und Löten – Auftraglöten	527
BES 6	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand	528
BES 6.1	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – PVD-Verfahren	528
BES 6.2	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – CVD-Verfahren	529
BES 6.3	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – Elektrolyt. Abscheiden	530
BES 6.4	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – Chemisches Abscheiden	531
BES 6.5	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – Anodisieren	532
BES 7	Diffusionsschichten	533
BES 8	Beschichten – Gestaltungshinweise	534
BES	Literatur	535
GES	KOSTENREDUZIERENDES GESTALTEN UND KONSTRUIEREN	537
GES 1	Fertigungsgerechte Gestaltung	539
GES 2	Montagegerechte Gestaltung	542
GES 3	Materialkosten reduzierende Gestaltung	544
GES 4	Recycling- und entsorgungsgerechte Gestaltung	545

GES 5 Lager- und transportkostengerechte Gestaltung 546

GES Literatur..... 547

KEN WERKSTOFFKENNWERTE 548

SACHWORTVERZEICHNIS 550

ADRESSENVERZEICHNIS 564

VITAE 570

NACHWORT..... 571

DANKE SCHÖN..... 571