

# Inhaltsverzeichnis

## Band I: Grundlagen

<b>1. Vorwort</b> .....	<b>15</b>
<b>2. Begriffe</b> .....	<b>17</b>
<b>3. Entwicklung und Bedeutung der Werkstoffe</b> .....	<b>21</b>
<b>4. Ausgangsstoffe</b> .....	<b>25</b>
4.1. Reaktionsharze .....	25
4.1.1. Ungesättigte Polyesterharze (UP).....	25
4.1.2. Vinylesterharze (VE).....	26
4.1.3. Diallylphthalatharze (DAP).....	27
4.1.4. Methacrylatharze (MMA).....	27
4.1.5. Epoxidharze (EP).....	28
4.1.6. Isocyanatharze (Polyurethane/PUR).....	29
4.1.7. Phenol-Formaldehydharze (PF).....	30
4.1.8. Aminoharze (UF/MF/MP).....	31
4.2. Thermoplaste.....	33
4.3. Biopolymere .....	35
4.4. Reaktionsmittel .....	37
4.5. Verstärkungsfasern.....	38
4.5.1. Textilglas-Fasern .....	38
4.5.2. Aramidfasern .....	40
4.5.3. Kohlenstofffasern .....	41
4.5.4. Naturfasern .....	43
4.6. Vliesstoffe .....	44
4.7. Füllstoffe .....	45
4.8. Additive.....	46
4.9. Farbmittel .....	46
5.1. Werkstoffe für geschlossene Werkzeuge .....	48
5.2. Werkstoffe für offene Werkzeuge .....	50
6.1. Institutionen der Normungsarbeit.....	52
6.1.1. Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN).....	52
6.1.2. Die „International Standard Organisation“ (ISO).....	56
6.1.3. Das „Comité Européen de Normalisation“ (CEN).....	56
6.2. Werdegang einer internationalen Norm .....	57

## Band II:

### Werkstoffe und ihre Herstellung

<b>1. Vorwort / Geltungsbereich</b> .....	<b>92</b>
<b>2. Ungesättigte Polyesterharze</b> .....	<b>93</b>
2.1.1.1. Einführung .....	93
2.1.1.2. Chemischer Aufbau .....	94
2.1.1.3. Harzeigenschaften.....	96
2.1.1.4. Formstoffeigenschaften.....	98
2.1.1.5. Chemische Widerstandsfähigkeit.....	100
2.1.1.6. Verarbeitungsverfahren.....	103
2.1.1.7. Anwendungsgebiete .....	103
2.1.1.8. Qualitätssicherung.....	103
2.1.2. Vinylesterharze .....	105
2.1.2.1. Einführung .....	105

2.1.2.2. Chemischer Aufbau .....	106
2.1.2.3. Harzeigenschaften.....	107
2.1.2.4. Formstoffeigenschaften.....	108
2.1.2.5. Chemische Widerstandsfähigkeit.....	110
2.1.2.6. Verarbeitungsverfahren.....	112
2.1.2.7. Anwendungsgebiete.....	112
2.1.2.8. Qualitätssicherung.....	112
2.1.3. Methyl-Methacrylatharze .....	113
2.1.3.1. Einführung .....	113
2.1.3.2. Chemischer Aufbau .....	114
2.1.3.3. Harzeigenschaften.....	115
2.1.3.5. Chemische Widerstandsfähigkeit.....	117
2.1.3.6. Verarbeitungsverfahren.....	118
2.1.3.7. Anwendungsgebiete.....	118
2.1.3.8. Qualitätssicherung.....	119
2.1.4. Epoxidharze .....	120
2.1.4.1. Einführung .....	120
2.1.4.2. Chemischer Aufbau .....	121
2.1.4.3. Harz- und Härtereigenschaften .....	125
2.1.4.4. Formstoffeigenschaften.....	126
2.1.4.5. Chemische Widerstandsfähigkeit.....	127
2.1.4.6. Verarbeitungsverfahren.....	128
2.1.4.7. Anwendungsgebiete.....	128
2.1.4.8. Qualitätssicherung.....	128
2.1.5. Polyol-Isocyanatharze .....	130
2.1.5.1. Einführung .....	130
2.1.5.3. Polyol- (Harz-) und Polyisocyanat- (Härter)eigenschaften.....	133
2.1.5.4. Formstoffeigenschaften.....	133
2.1.5.5. Chemische Widerstandsfähigkeit.....	135
2.1.5.6. Verarbeitung .....	136
2.1.5.7. Anwendungsgebiete.....	136
2.1.5.8. Qualitätssicherung.....	136
2.2. Thermoplaste – Polypropylen .....	137
2.2.1. Einführung.....	137
2.2.2. Polymeraufbau.....	138
2.2.2.1. Selektive Werkstoffmodifizierung .....	138
2.2.2.2. Kettenstruktur und Molekulargewichtsverteilung.....	138
2.2.2.3. Copolymerisation und Kristallisation .....	140
2.2.2.4. Mehrphasensysteme und Füllstoffe.....	142
2.2.3. Eigenschaftspektrum .....	144
2.2.3.2. Rheologische Eigenschaften .....	145
2.2.3.3. Thermomechanik .....	149
2.2.3.4. Langzeitbeständigkeit [39, 40].....	149
2.2.4. Verarbeitungsverfahren und Anwendungsgebiete.....	152
2.2.4.1. Anwendungen im Automobilbereich .....	153
2.2.4.2. Anwendungen im Elektro- und Elektronikbereich .....	154
2.2.4.3. Rohr- und Profilanwendungen .....	154
2.2.4.4. Weitere technische Anwendungen.....	155
2.3. Biopolymere .....	160
2.3.1. Beschreibung der Ausgangskomponenten.....	160
2.3.2. Voraussetzungen für die Verarbeitung .....	161

2.3.4.	
Duroplasttypen und ihre Charakteristika .....	162
2.3.4.1. Acrylate .....	162
2.3.4.2. Epoxidharze .....	163
2.3.5. Herstellungstechniken .....	163
2.3.5.1. Imprägnierung von Nadelfilzen .....	164
2.3.5.2. Thermoformprozess .....	167
2.3.5.3. Handlaminat .....	167
2.3.5.4. Profilizieverfahren .....	169
2.3.5.5. Wickeltechnik .....	169
2.4. Reaktionsmittel .....	172
2.4.1. Chemische Grundlagen .....	172
2.4.2. Reaktionsmittel für Polymerisate .....	172
2.4.2.1. Inhibitoren .....	174
2.4.2.2. Kalthärtung .....	174
2.4.2.3. Warmhärtung .....	175
2.4.4. Sicherer Umgang mit Reaktionsmitteln .....	177
2.5. Verstärkungsfasern .....	179
2.5.1. Textilglasfasern .....	179
2.5.1.1. Geschichtliches .....	179
2.5.1.2. Herstellung / Zusammensetzung .....	179
2.5.1.3. Direktschmelzverfahren .....	180
2.5.1.4. Schichten .....	180
2.5.2. Aramidfasern .....	186
2.5.2.1. Einleitung/Geschichtliches .....	186
2.5.2.2. Herstellungsverfahren .....	187
2.5.2.3. Lieferformen/Aufmachung .....	188
2.5.2.4. Eigenschaften/Anwendungen - PPTA-Fasern .....	189
2.5.2.5. Entwicklungstendenzen .....	191
2.5.2.6. Nachbearbeitung .....	192
2.5.3. Kohlenstoff-Fasern .....	194
2.5.3.1. Geschichte der Kohlenstoff-Faser .....	194
2.5.3.2. Herstellung von Kohlenstoff-Fasern .....	194
2.5.3.3. Struktur und Oberflächeneigenschaften .....	196
2.5.3.4. Präparationen (Ausrüstungen) .....	198
2.5.3.5. Eigenschaften / Verarbeitung / Anwendungen .....	199
2.5.4. Naturfasern .....	202
2.5.4.1. Einleitung .....	202
2.5.4.2. Beschreibung der Ausgangskomponenten .....	203
2.5.4.3. Darstellung einzelner Fasertypen und ihre Charakteristika .....	204
2.5.4.4. Beschreibung der Herstellungsverfahren .....	206
2.5.4.5. Voraussetzungen für die Verarbeitung .....	208
2.6. Vliesstoffe .....	212
2.6.1. Einführung .....	212
2.6.2. Begriff .....	212
2.6.3. Verwendungszweck .....	212
2.6.4. Textilglasvliese .....	213
2.6.5. Synthesefaservliese .....	214
2.6.6. Qualitätssicherung .....	214
2.7. Füllstoffe .....	216
2.7.1. Einführung/Geschichtliches .....	216
2.7.2. Morphologie und Kristallstruktur .....	216

2.7.3. Ausgewählte Füllstoffe – eine Übersicht.....	219
2.7.3.3. Kaolin .....	219
2.7.4. Verfahrenstechnik.....	222
2.7.5. Anwendungshinweise für GFK .....	224
2.7.6. Ausblick.....	225
2.8. Additive.....	226
2.8.1. Einführung .....	226
2.8.2. Beschreibung der Additive .....	228
2.8.2.1. Entlüfteradditive .....	228
2.8.2.3. Additive zur Emissionsreduzierung .....	234
2.8.2.4. Additive zur Separationverhinderung .....	235
2.8.2.5. Prozessadditive .....	236
2.8.2.6. Rheologie .....	237
2.8.2.7. Additive zum Alterungsschutz.....	239
2.9. Farbmittel .....	243
2.9.1. Einführung / Geschichtliches.....	243
2.9.2. Grundlagen .....	243
2.9.3. Farbmittel in faserverstärkten Kunststoffen .....	244
2.9.4. Übersicht ausgewählter Pigmente .....	245
2.9.5. Pigmentpräparationen und Aufbereitung.....	247
2.10. Trennmittel .....	250
2.10.1. Trennmittel – alte und neue Weisheiten .....	250
2.10.2. Das Modell .....	252
2.10.3. Grundierung.....	252
2.10.4. Der Formenbau.....	252
2.10.5. Das Werkzeug in der Produktion.....	252
2.10.6. Alte oder beschädigte Werkzeuge .....	253
2.10.7. Parameter zur Trennmittelbestimmung .....	253
2.10.8. Fehlerquellen .....	254
<b>3. Faserhalbzeuge.....</b>	<b>258</b>
3.1.1. Herstellung von Faserhalbzeugen.....	258
3.1.1.1. Gewebe .....	258
3.1.1.2. Geflechte .....	260
3.1.1.3. Gelege.....	262
3.1.1.4. Sonderformen.....	263
3.1.2. Konfektion von Faserhalbzeugen .....	264
3.2. Prepregs.....	266
3.2.1. Einleitung .....	266
3.2.2. Prepregherstellung.....	267
3.2.2.1. Duroplastprepregs.....	267
3.2.2.2. Thermoplastprepregs.....	269
3.2.3. Eigenschaften / Aufmachung.....	274
3.3.1. Werkstoff SMC .....	275
3.3.1.1. Geschichtliche Entwicklung .....	275
3.3.1.2. Zusammensetzung des SMC.....	275
3.3.1.3. Herstellung und Lieferform der Formmassen .....	278
3.3.1.4. Verarbeitung und Nachbearbeitung von SMC .....	280
3.3.1.5. Werkstoffeigenschaften .....	281
3.3.2. BMC Polyesterformmassen.....	290
3.3.2.1. Geschichtliche Entwicklung .....	290
3.3.2.2. BMC: Zusammensetzung.....	290

3.3.2.3. Aufbereitung – Lieferform des BMC.....	292
3.3.2.4. Eigenschaften und Prüfung .....	294
3.3.2.5. Verarbeitung .....	296
3.4. Thermoplast-Formmassen .....	296
3.4.1. Einführung.....	296
3.4.2. Ausgangsstoffe .....	297
3.4.2.1. GMT .....	297
3.4.2.2. G-LFT .....	297
3.4.2.3. D-LFT .....	297
3.4.3. Herstellverfahren .....	298
3.4.3.1. GMT .....	298
3.4.3.2. G-LFT .....	300
3.4.3.3. D-LFT .....	302
3.4.4. Eigenschaften .....	302
3.4.4.1. GMT .....	302
3.4.4.2. G-LFT .....	303
3.4.4.3. D-LFT .....	304
3.4.5. Ausblick.....	305
<b>4. Werdegang eines Produktes.....</b>	<b>306</b>
4.1. Gestaltung eines Produktes .....	306
4.2. Konstruktion und Berechnung.....	311
4.2.1. Umdenken in Schichten und Faserkoordinaten .....	311
4.2.2. Eigenschaften des Verbundes aus Fasern und Matrix .....	312
4.2.3. Eigenschaften mehrschichtiger Lamine .....	314
4.2.4. Dimensionierung mit der Klassischen Laminattheorie (CLT).....	315
4.2.5. Festigkeitsanalyse .....	318
4.2.6. Hilfsmittel für die Berechnung .....	321
4.2.6.1. Analytische PC-Programme.....	321
4.2.6.2. FEM-Programme .....	322
4.2.7. Kraftereinleitungselemente.....	323
4.3.1. Handlaminieren / Faserspritzen .....	324
4.3.1.1. Einleitung.....	324
4.3.1.2. Verfahrensgrundlagen.....	324
4.3.1.3. Betriebsmittel / Werkzeuge.....	326
4.3.1.4.	
Ausgangsstoffe .....	331
4.3.1.5. Verfahrensablauf.....	332
4.3.1.6. Gestaltungsparameter.....	336
4.3.1.7. Eigenschaften / Qualität.....	337
4.3.2. Nasspressen .....	341
4.3.2.1. Einführung.....	341
4.3.2.2. Verfahrensgrundlagen .....	341
4.3.2.3. Verfahrensablauf.....	341
4.3.2.4. Betriebsmittel.....	342
4.3.2.5. Ausgangsstoffe.....	345
4.3.2.6. Qualität von Pressteilen .....	351
4.3.2.7. Mögliche Fehler und ihre Ursachen.....	352
4.3.4. Wickelverfahren .....	353
4.3.4.1. Einleitung.....	353
4.3.4.2. Verfahrensgrundlagen.....	354
4.3.4.3. Anlagentechnik .....	355
4.3.4.4. Duroplastwickeln .....	358

4.3.5. Profilziehverfahren .....	366
4.3.5.1. Einleitung / Geschichtliches .....	366
4.3.5.2. Verfahrensgrundlagen .....	367
4.3.5.3. Betriebsmittel .....	368
4.3.5.4. Ausgangsstoffe .....	368
4.3.5.5. Gestaltungsparameter .....	374
4.3.5.6. Eigenschaften .....	374
4.3.5.7. Weiterverarbeitung .....	375
4.3.5.8. Anwendungsbeispiele .....	375
4.3.6. Injektions-Verfahren .....	376
4.3.6.1. Einführung .....	376
4.3.6.2. RTM-Verfahrensablauf .....	376
4.3.6.3. Verfahrensgrundlagen .....	377
4.3.6.4. Betriebsmittel .....	378
4.3.6.5. Ausgangsstoffe .....	379
4.3.6.6. Prozessvarianten/Gestaltungsoptionen .....	379
4.3.7. Hochdruckpressen von SMC/BMC .....	381
4.3.7.1. Einführung/Geschichtliches .....	381
4.3.7.2. Verfahrensgrundlagen .....	381
4.3.7.3. Betriebsmittel .....	382
4.3.7.4. Ausgangsstoffe .....	387
4.3.7.5. Produktionswerkzeuge/Hilfsmittel .....	388
4.3.7.6. Gestaltungsrichtlinien .....	391
4.3.7.7. Nachbehandlung .....	398
4.3.7.8. Qualität/Eigenschaften .....	398
4.3.8. Hochdruckpressen von GMT/LFT .....	398
4.3.8.1. Einführung / Geschichtliches .....	398
4.3.8.2. Verfahrensgrundlagen .....	398
4.3.8.3. Betriebsmittel / Verfahrensablauf .....	399
4.3.8.5. Produktionswerkzeuge/Hilfsmittel .....	402
4.3.8.6. Gestaltungsrichtlinien .....	403
4.3.8.7. Nachbehandlung .....	404
4.3.8.8. Qualität / Eigenschaften .....	405
4.3.9. Spritzgießen von BMC .....	406
4.3.9.1. Einführung .....	406
4.3.9.2. Verfahrensgrundlagen .....	407
4.3.9.3. Betriebsmittel .....	410
4.3.9.4. Ausgangsstoffe .....	412
4.3.9.5. Produktionswerkzeuge .....	414
4.3.9.6. Nachbehandlung .....	415
4.3.9.7. Qualität und Eigenschaften .....	415
4.3.10. Kontinuierliches Laminieren .....	415
4.3.10.1. Einführung .....	415
4.3.10.2. Verfahrenstechnische Grundlagen .....	416
4.3.10.3. Ausgangsstoffe / Hilfsmittel .....	417
4.3.10.4.	
Kontinuierliche Herstellung planer Platten und Bahnen .....	424
4.3.10.5.	
Produkte - Konstruktion - Eigenschaften - Anwendungen .....	428
4.3.11. Schleuderverfahren .....	432
4.3.11.1. Einführung .....	432
4.3.11.2. Grundlagen des Schleuderverfahrens .....	433

4.3.11.3. Fertigungseinrichtungen.....	433
4.3.11.4. Verfahrenstechnik .....	434
4.3.11.5. Verfahrensbedingte Produktmerkmale.....	435
4.3.11.6. Qualitätssicherung.....	436
4.3.12. Umformen endlosfaserverstärkter Thermoplaste.....	438
4.3.12.1. Einführung .....	438
4.3.12.2. Ausgangssituation .....	438
4.3.12.3. Verfahrensablauf.....	438
4.3.13. LFI - Verfahren.....	443
4.3.13.1. Einleitung.....	443
4.3.13.2. Betriebsmittel.....	443
4.3.13.3. Prozessüberwachung.....	452
4.4. Fertigteilbearbeitung .....	455
4.4.1. Spanende Bearbeitung .....	459
4.4.1.1. Fräsen.....	459
4.4.1.2. Bohren.....	461
4.4.1.4. Ultraschallschwingläppen .....	464
4.4.2. Strahl-Bearbeitung.....	464
4.4.2.1. Wasserstrahlschneiden .....	464
4.4.2.2. Laserstrahlschneiden .....	467
4.4.3. Fügetechnik .....	469
4.4.3.1. Oberflächenbehandlung .....	469
4.4.3.2. Kleben von FVK .....	471
4.4.3.3. Schweißen von FVK .....	474
4.4.3.4. Mechanisches Fügen.....	477
<b>Der Autorenkreis</b>	<b>487</b>