

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Vorwort .....</b>	11
<b>2 Begriffe und Abkürzungen .....</b>	13
<b>3 Grundlagen .....</b>	17
3.1 Verbundwerkstoffe .....	17
3.2 Der Markt für Faserverbundkunststoffe .....	18
3.2.1 Einordnung in die Kunststoffindustrie und Marktbeschreibung .....	18
3.2.2 Anwendungen und Verfahren .....	20
3.2.3 Marktchancen .....	20
<b>4 Werkstoffe .....</b>	22
4.1 Rohstoffe .....	22
4.1.1 Harze .....	22
4.1.1.1 Ungesättigte Polyesterharze .....	22
4.1.1.2 Vinylesterharze .....	35
4.1.1.3 Diallylphthalatharze .....	44
4.1.1.4 Methyl-Methacrylatharze .....	45
4.1.1.5 Epoxidharze .....	53
4.1.1.6 Polyurethane .....	65
4.1.1.7 Phenol-Formaldehydharze .....	72
4.1.1.8 Aminoharze .....	74
4.1.2 Thermoplaste – Polypropylen .....	75
4.1.2.1 Einführung .....	75
4.1.2.2 Polymeraufbau .....	77
4.1.2.3 Eigenschaftspektrum .....	86
4.1.2.4 Verarbeitungsverfahren und Anwendungsgebiete .....	94
4.1.2.5 Aktuelle Entwicklungstrends und Zukunftsaussichten .....	99
4.1.3 Biopolymere .....	103
4.1.3.1 Beschreibung der Ausgangskomponenten .....	103
4.1.3.2 Voraussetzungen für die Verarbeitung .....	105
4.1.3.3 Darstellung ausgewählter Typen und ihrer Charakteristika .....	105
4.1.4 Reaktionsmittel .....	114
4.1.4.1 Chemische Grundlagen .....	114
4.1.4.2 Reaktionsmittel für Polymerisate .....	115
4.1.4.3 Reaktionsmittel für Polyadditionsreaktionen .....	119
4.1.4.4 Sicherer Umgang mit Reaktionsmitteln .....	121
4.1.5 Verstärkungsfasern .....	122
4.1.5.1 Textilglasfasern .....	122
4.1.5.2 Aramidfasern .....	133
4.1.5.3 Kohlenstoff-Fasern .....	139
4.1.5.4 Naturfasern .....	147

4.1.6	Vliesstoffe .....	165
4.1.6.1	Einführung .....	165
4.1.6.2	Herstellungsverfahren .....	165
4.1.6.3	Verwendungszweck .....	170
4.1.7	Füllstoffe .....	173
4.1.7.1	Einführung/Geschichtliches .....	173
4.1.7.2	Morphologie und Kristallstruktur .....	173
4.1.7.3	Ausgewählte Füllstoffe – eine Übersicht .....	176
4.1.7.4	Verfahrenstechnik .....	179
4.1.7.5	Anwendungshinweise für GFK .....	180
4.1.7.6	Ausblick .....	181
4.1.8	Additive .....	182
4.1.8.1	Einführung .....	182
4.1.8.2	Beschreibung der Additive .....	184
4.1.9	Farbmittel .....	205
4.1.9.1	Einführung/Geschichtliches .....	205
4.1.9.2	Grundlagen .....	206
4.1.9.3	Farbmittel in Faserverstärkten Kunststoffen .....	207
4.1.9.4	Übersicht ausgewählter Pigmente .....	207
4.1.9.5	Pigmentpräparationen und Aufbereitung .....	211
4.1.9.6	Ausblick .....	213
4.1.10	Trennmittel .....	213
4.1.10.1	Einleitung .....	213
4.1.10.2	Trennmittelsysteme .....	214
4.1.10.3	Fehlerquellen .....	219
4.1.10.4	Beispielhafte Anwendungen .....	222
4.1.10.5	Schlusswort .....	222
4.2	Halbzeuge .....	223
4.2.1	Faserhalbzeuge .....	223
4.2.1.1	Herstellung von Faserhalbzeugen .....	223
4.2.1.2	Konfektion von Faserhalbzeugen .....	231
4.2.2	Prepregs .....	233
4.2.2.1	Einleitung .....	233
4.2.2.2	Herstellung und Eigenschaften von Duroplastprepregs .....	233
4.2.2.3	FKV Halbzeuge mit thermoplastischer Matrix .....	235
4.2.3	SMC/BMC .....	237
4.2.3.1	Werkstoff SMC .....	237
4.2.3.2	BMC Polyesterformmassen .....	261
4.2.4	Thermoplastische Formmassen .....	274
4.2.4.1	Einführung .....	274
4.2.4.2	Ausgangsstoffe .....	274
4.2.4.3	Herstellverfahren .....	275
4.2.4.4	Eigenschaften .....	279
4.2.4.5	Ausblick .....	284
4.3	Werkzeug-Werkstoffe .....	286
4.3.1	Werkstoffe für geschlossene Werkzeuge .....	286
4.3.2	Werkstoffe für offene Werkzeuge .....	288

<b>5 Werdegang eines Produktes .....</b>	289
5.1 Gestaltung eines Produktes .....	289
5.2 Konstruktion und Berechnung .....	294
5.2.1 Umdenken in Schichten und Faserkoordinaten .....	294
5.2.2 Eigenschaften des Verbundes aus Fasern und Matrix .....	295
5.2.3 Eigenschaften mehrschichtiger Laminate .....	299
5.2.4 Dimensionierung mit der Klassischen Laminattheorie (CLT) .....	300
5.2.5 Festigkeitsanalyse .....	304
5.2.6 Hilfsmittel für die Berechnung .....	307
5.2.7 Lebensdauer von FVK .....	308
5.2.8 Verhalten bei Crash .....	308
5.2.9 Krafteinleitungselemente .....	308
<b>6 Herstellungsverfahren .....</b>	311
6.1 Handlaminieren/Faserspritzen .....	311
6.1.1 Einleitung .....	311
6.1.2 Verfahrensgrundlagen .....	312
6.1.3 Betriebsmittel/Werkzeuge .....	315
6.1.4 Ausgangsstoffe für handlaminierte oder fasergespritzte Bauteile .....	319
6.1.5 Verfahrensablauf .....	321
6.1.6 Gestaltungsparameter .....	325
6.1.7 Eigenschaften/Qualität .....	327
6.2 Nasspressen .....	331
6.2.1 Einführung .....	331
6.2.2 Verfahrensgrundlagen .....	331
6.2.3 Verfahrensablauf .....	331
6.2.4 Betriebsmittel .....	332
6.2.5 Ausgangsstoffe .....	337
6.2.6 Qualität von Pressteilen .....	343
6.2.7 Mögliche Fehler und ihre Ursachen .....	344
6.2.8 Ausblick .....	345
6.3 Wickelverfahren .....	346
6.3.1 Einleitung .....	346
6.3.2 Verfahrensgrundlagen .....	346
6.3.3 Anlagentechnik .....	349
6.3.4 Thermoplastwickeln .....	354
6.3.5 Weitere Entwicklung .....	359
6.4 Profilziehverfahren .....	361
6.4.1 Einleitung/Geschichtliches .....	361
6.4.2 Verfahrensgrundlagen .....	362
6.4.3 Betriebsmittel .....	364
6.4.4 Ausgangsstoffe .....	365
6.4.5 Gestaltungsparameter .....	367
6.4.6 Eigenschaften .....	369
6.4.7 Weiterverarbeitung .....	370
6.4.8 Anwendungsbeispiele .....	371

6.5	Injektionsverfahren .....	375
6.5.1	Einführung .....	375
6.5.2	RTM-Verfahrensablauf .....	376
6.5.3	Verfahrensgrundlagen .....	377
6.5.4	Betriebsmittel .....	378
6.5.5	Ausgangsstoffe .....	380
6.5.6	Prozessvarianten/Gestaltungsoptionen .....	380
6.5.7	Zusammenfassung .....	381
6.6	Das Spaltimprägnierverfahren .....	383
6.6.1	Einleitung .....	383
6.6.2	Konzept des Spaltimprägnierverfahrens .....	384
6.6.3	Formfüllvorgang im Spaltimprägnierverfahren .....	385
6.6.4	Fertigung von ebenen, monolithischen Bauteilen .....	387
6.6.5	Analyse der Fertigung von gekrümmten Sandwichbauteilen mithilfe des Spaltimprägnierverfahrens .....	389
6.6.6	Fazit und Ausblick .....	390
6.7	Heißpressen von SMC/BMC .....	393
6.7.1	Einführung/Geschichtliches .....	393
6.7.2	Verfahrensgrundlagen .....	393
6.7.3	Betriebsmittel .....	394
6.7.4	Produktionswerkzeuge/Hilfsmittel .....	403
6.7.5	Gestaltungsrichtlinien .....	406
6.7.6	Nachbehandlung .....	417
6.7.7	Qualität/Eigenschaften .....	418
6.8	Hochdruckpressen von GMT/LFT .....	419
6.8.1	Einführung/Geschichtliches .....	419
6.8.2	Verfahrensgrundlagen .....	419
6.8.3	Betriebsmittel /Verfahrensablauf .....	420
6.8.4	Ausgangsstoffe .....	422
6.8.5	Produktionswerkzeuge/Hilfsmittel .....	424
6.8.6	Gestaltungsrichtlinien .....	424
6.8.7	Nachbehandlung .....	427
6.8.8	Qualität/Eigenschaften .....	428
6.9	Spritzgießen von BMC .....	430
6.9.1	Einführung .....	430
6.9.2	Verfahrensgrundlagen .....	430
6.9.3	Betriebsmittel .....	433
6.9.4	Produktionswerkzeuge .....	437
6.9.5	Nachbehandlung .....	438
6.9.6	Qualität und Eigenschaften .....	438
6.10	Spritzgießen langfaserverstärkter Thermoplaste (LFT) .....	439
6.10.1	Einführung .....	439
6.10.2	Prinzip der Langfaserverstärkung .....	439
6.10.3	Verfahrensgrundlagen .....	441
6.10.4	Betriebsmittel/Verfahrensablauf .....	442
6.10.5	Ausgangsstoffe .....	448
6.10.6	Ausblick und Entwicklungstendenzen .....	449

6.11 Kontinuierliches Laminieren .....	451
6.11.1 Einführung .....	451
6.11.2 Verfahrenstechnische Grundlagen .....	451
6.11.3 Ausgangsstoffe/Hilfsmittel .....	452
6.11.4 Kontinuierliche Herstellung planer Platten und Bahnen .....	459
6.11.5 Produkte – Konstruktion – Eigenschaften – Anwendungen .....	465
6.12 Schleuderverfahren .....	470
6.12.1 Einführung .....	470
6.12.2 Grundlagen des Schleuderverfahrens .....	471
6.12.3 Fertigungseinrichtungen .....	471
6.12.4 Verfahrenstechnik .....	472
6.12.5 Verfahrensbedingte Produktmerkmale .....	473
6.12.6 Qualitätssicherung .....	475
6.13 Umformen endlosfaserverstärkter Thermoplaste .....	477
6.13.1 Einführung .....	477
6.13.2 Ausgangssituation .....	477
6.13.3 Verfahrensablauf .....	478
6.13.4 Umformverfahren, Betriebsmittel und Einsatzmöglichkeiten .....	478
6.14 Automatisierte Legeverfahren .....	484
6.14.1 Einleitung .....	484
6.14.2 Verfahrensgrundlagen .....	484
6.14.3 Anlagentechnik .....	485
6.14.4 Duroplast-Tapelegen .....	486
6.14.5 Thermoplast-Tapelegen .....	486
6.15 LFI-Verfahren .....	487
6.15.1 Einleitung .....	487
6.15.2 Verfahrensablauf .....	487
6.15.3 Anlagentechnik .....	489
6.15.4 Prozessüberwachung .....	497
6.15.5 Prozessvarianten .....	498
6.15.6 Zusammenfassung und Ausblick .....	499
6.16 Fertigteilbearbeitung .....	502
6.16.1 Spanende Bearbeitung .....	505
6.16.1.1 Fräsen .....	505
6.16.1.2 Bohren .....	509
6.16.1.3 Stanzen .....	511
6.16.1.4 Ultraschallschwingläppen .....	512
6.16.2 Strahl-Bearbeitung .....	513
6.16.2.1 Wasserstrahlschneiden .....	513
6.16.2.2 Laserstrahlschneiden .....	516
6.16.3 Fügetechnik .....	518
6.16.3.1 Oberflächenbehandlung .....	518
6.16.3.2 Kleben von FVK .....	521
6.16.3.3 Schweißen von FVK .....	524
6.16.3.4 Mechanisches Fügen .....	527
6.16.3.5 Weitere in der Praxis angewandte Verbindungstechniken .....	536

<b>7 Normung .....</b>	<b>543</b>
<b>7.1 Institutionen der Normungsarbeit .....</b>	<b>543</b>
<b>7.1.1 Der Fachnormenausschuss Kunststoffe (FNK) im Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) .....</b>	<b>543</b>
<b>7.1.1.1 Aufgabenbeschreibung des FNK .....</b>	<b>544</b>
<b>7.1.1.2 Organisationsschema des FNK .....</b>	<b>544</b>
<b>7.1.1.3 Finanzierung der Normungsarbeit .....</b>	<b>546</b>
<b>7.1.1.4 Berichte und Arbeitsergebnisse aus den Gremien .....</b>	<b>548</b>
<b>7.1.2 Die „International Standard Organisation (ISO)“ .....</b>	<b>551</b>
<b>7.1.3 Das „Comité Européen de Normalisation“ (CEN) .....</b>	<b>553</b>
<b>7.1.4 Die wichtigsten Gremien des FNK mit ihren Internat. Spiegelgremien ..</b>	<b>555</b>
<b>7.1.5 Das Europäische Normungsverfahren .....</b>	<b>556</b>
<b>7.2 Werdegang einer internationalen Norm .....</b>	<b>558</b>
<b>7.2.1 Verfahren .....</b>	<b>558</b>
<b>7.2.2 Kosten einer Norm .....</b>	<b>558</b>
<b>7.2.3 Weitere Komitees .....</b>	<b>559</b>
<b>8 Prüfverfahren .....</b>	<b>561</b>
<b>8.1 Einleitung .....</b>	<b>561</b>
<b>8.2 Die wichtigsten Bestimmungen im Überblick .....</b>	<b>561</b>
<b>9 Prüfzeichen .....</b>	<b>579</b>
<b>10 Die AVK stellt sich vor .....</b>	<b>582</b>
<b>Autorenverzeichnis .....</b>	<b>584</b>