

## Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites

Das aktualisierte Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites der AVK ist seit langem „das“ Standardwerk für alle, die in diesem Marktsegment der Kunststoffindustrie beschäftigt sind. Es vermittelt die grundlegende Übersicht aller Themenbereiche rund um die Verarbeitung der sogenannten Composites. Der aktuelle Stand der Technik wird komprimiert zusammengefasst. Die Vielfältigkeit der Anwendungsgebiete von Bauteilen bzw. Produkten wird dabei herausgearbeitet und anschaulich dargestellt.

Nach einem einleitenden Teil mit Begriffsklärungen und Erläuterungen zum Markt und zu Anwendungen werden die eingesetzten Materialien bzw. Rohstoffe beschrieben. Die für die sehr speziellen Werkzeuge bevorzugten Werkstoffe werden ebenso erläutert wie die für die Verarbeitung entwickelten Halbzeuge. Die Beschreibung der sehr unterschiedlichen Herstellverfahren und Nachbearbeitungsmöglichkeiten komplettiert dieses in der vorliegenden Form einmalige Werk.

Das Handbuch eignet sich für Einsteiger mit wenig Vorkenntnissen ebenso wie als Nachschlagewerk für das Alltagsgeschäft des Praktikers.

### Die Zielgruppen

- Entwicklungsingenieure in Industrie-Unternehmen, die Bauteile aus verstärkten Kunststoffen einsetzen
- Verarbeiter von verstärkten Kunststoffen
- Rohstoffherzeuger und -lieferanten von verstärkten Kunststoffen und duroplastischen Formmassen
- Werkstoffexperten
- Ingenieure und Fachkräfte im Bereich Maschinenbau, Fertigungs- und Verfahrenstechnik
- Lehrende und Studierende in Fachgebieten wie Maschinenbau, Fertigungs- und Verfahrenstechnik

### Herausgeber/Autoren

Die AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V. ist der deutsche Fachverband für Faserverbundkunststoffe/Composites und vertritt die Interessen der Erzeuger und Verarbeiter auf nationaler und europäischer Ebene. Der Autorenkreis setzt sich zusammen aus Experten der AVK-Mitgliedsunternehmen.

ISBN 978-3-658-02754-4



springer-vieweg.de



Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites

4. Aufl.

AVK – Industrievereinigung  
Verstärkte Kunststoffe e.V. Hrsg.

# Handbuch Faserverbundkunststoffe / Composites

Grundlagen · Verarbeitung · Anwendungen

4. Auflage



Springer Vieweg

ISBN 978-3-658-02754-4

ISBN 978-3-658-02755-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-658-02755-1

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1. und 2. Auflage 2005, 2010, 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Coverfotos von links nach rechts:

Foto Gebäude: Butzbach Industrietore GmbH

Foto Windrad: alpha ventus/Matthias Ibeler, 2010

Flugzeug: Butzbach Industrietore GmbH

LKW: MAN Truck & Bus AG

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media  
[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>25</b>
<b>1 Vorwort .....</b>	<b>27</b>
<b>2 Begriffe und Abkürzungen.....</b>	<b>29</b>
<b>3 Grundlagen .....</b>	<b>33</b>
3.1 Verbundwerkstoffe.....	33
3.2 Der Markt für Faserverbundkunststoffe/Composites .....	34
3.2.1 Einordnung in die Kunststoff-Industrie und Marktbeschreibung .....	34
3.2.2 Anwendungen und Verfahren.....	35
3.2.3 Marktchancen.....	36
<b>4 Werkstoffe.....</b>	<b>38</b>
4.1 Rohstoffe.....	38
4.1.1 Harze .....	38
4.1.1.1 Ungesättigte Polyesterharze .....	38
4.1.1.2 Vinylesterharze .....	51
4.1.1.3 Diallylphthalatharze .....	59
4.1.1.4 Methyl-Methacrylatharze .....	60
4.1.1.5 Epoxidharze.....	67
4.1.1.6 Polyurethane.....	77
4.1.1.7 Phenol-Formaldehydharze.....	84
4.1.1.8 Aminoharze .....	85
4.1.2 Thermoplaste – Polypropylen .....	87
4.1.2.1 Einführung.....	87
4.1.2.2 Polymeraufbau.....	89
4.1.2.3 Eigenschaftspektrum .....	97
4.1.2.4 Verarbeitungsverfahren und Anwendungsgebiete .....	105
4.1.2.5 Aktuelle Entwicklungstrends und Zukunftsaussichten .....	107
4.1.3 Biopolymere.....	110
4.1.3.1 Beschreibung der Ausgangskomponenten.....	110
4.1.3.2 Voraussetzungen für die Verarbeitung.....	112
4.1.3.3 Darstellung ausgewählter Typen und ihrer Charakteristika .....	113
4.1.4 Reaktionsmittel .....	121
4.1.4.1 Chemische Grundlagen .....	121
4.1.4.2 Reaktionsmittel für Polymerisate .....	122
4.1.4.3 Reaktionsmittel für Polyadditionsreaktionen .....	126
4.1.4.4 Sicherer Umgang mit Reaktionsmitteln .....	128
4.1.5 Verstärkungsfasern .....	129
4.1.5.1 Textilglasfasern.....	129

4.1.5.2	Aramidfasern .....	139
4.1.5.3	Kohlenstoff-Fasern .....	145
4.1.5.4	Weitere Verstärkungsfasern .....	155
4.1.6	Vliesstoffe .....	166
4.1.6.1	Einführung .....	166
4.1.6.2	Herstellungsverfahren .....	167
4.1.6.3	Verwendungszweck .....	171
4.1.7	Füllstoffe .....	174
4.1.7.1	Einführung/Geschichtliches .....	174
4.1.7.2	Morphologie und Kristallstruktur .....	174
4.1.7.3	Ausgewählte Füllstoffe – eine Übersicht .....	176
4.1.7.4	Verfahrenstechnik .....	180
4.1.7.5	Anwendungshinweise für GFK .....	180
4.1.7.6	Ausblick .....	181
4.1.8	Additive .....	183
4.1.8.1	Einführung .....	183
4.1.8.2	Beschreibung der Additive .....	184
4.1.9	Farbmittel .....	203
4.1.9.1	Einführung/Geschichtliches .....	203
4.1.9.2	Grundlagen .....	204
4.1.9.3	Farbmittel in Faserverstärkten Kunststoffen .....	205
4.1.9.4	Übersicht ausgewählter Pigmente .....	206
4.1.9.5	Pigmentpräparationen und Aufbereitung .....	209
4.1.9.6	Ausblick .....	211
4.1.10	Trennmittel .....	211
4.1.10.1	Einleitung .....	211
4.1.10.2	Trennmittelsysteme .....	212
4.1.10.3	Anwendungsfelder .....	213
4.1.10.4	Parameter zur Trennmittelbestimmung .....	215
4.1.10.5	Trennmittelwahl nach Fertigungsmethode .....	216
4.1.10.6	Fehlerquellen .....	219
4.1.10.7	Beispielhafte Anwendungen .....	222
4.1.10.8	Schlusswort .....	223
4.2	Halbzeuge .....	224
4.2.1	Faserhalbzeuge .....	224
4.2.1.1	Herstellung von Faserhalbzeugen .....	224
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 .....	234
4.2.2.3	FVK-Halbzeuge mit thermoplastischer Matrix .....	235
4.2.3	Preform .....	237
4.2.3.1	Einleitung .....	237
4.2.3.2	Verfahren zur Herstellung von Preformen .....	239
4.2.3.3	Ausblick .....	242
4.2.4	SMC/BMC .....	243
4.2.4.1	Werkstoff SMC .....	243
4.2.4.2	BMC Polyesterformmassen .....	266

4.2.5	Thermoplastische Formmassen.....	278
4.2.5.1	Einführung.....	278
4.2.5.2	Ausgangsstoffe.....	278
4.2.5.3	Herstellverfahren.....	280
4.2.5.4	Eigenschaften.....	284
4.2.5.5	Ausblick.....	290
4.3	Werkzeug-Werkstoffe.....	291
4.3.1	Werkstoffe für geschlossene Werkzeuge.....	291
4.3.2	Werkstoffe für offene Werkzeuge.....	293
<b>5</b>	<b>Werdegang eines Produktes.....</b>	<b>295</b>
5.1	Gestaltung eines Produktes.....	295
5.2	Konstruktion und Berechnung.....	299
5.2.1	Umdenken in Schichten und Faserkoordinaten.....	300
5.2.2	Eigenschaften des Verbundes aus Fasern und Matrix.....	301
5.2.3	Eigenschaften mehrschichtiger Lamine.....	304
5.2.4	Dimensionierung mit der Klassischen Laminattheorie (CLT).....	305
5.2.5	Festigkeitsanalyse.....	308
5.2.6	Nichtlineares Materialverhalten.....	311
5.2.7	Hilfsmittel für die Berechnung.....	313
5.2.8	Lebensdauer von FVK.....	314
5.2.9	Verhalten bei Crash.....	315
5.2.10	Krafteinleitungselemente.....	315
5.2.11	Anwendungsbeispiel „PKW-Motorhaube“.....	316
<b>6</b>	<b>Herstellungsverfahren.....</b>	<b>326</b>
6.1	Handlaminieren/Faserspritzen.....	326
6.1.1	Einleitung.....	326
6.1.2	Verfahrensgrundlagen.....	327
6.1.3	Betriebsmittel / Werkzeuge.....	330
6.1.4	Ausgangsstoffe für handlaminierete oder fasergespritzte Bauteile.....	335
6.1.5	Verfahrensablauf.....	336
6.1.6	Gestaltungsparameter.....	341
6.1.7	Eigenschaften/Qualität.....	343
6.2	Nasspressen.....	346
6.2.1	Einführung.....	346
6.2.2	Verfahrensgrundlagen.....	346
6.2.3	Verfahrensablauf.....	347
6.2.4	Betriebsmittel.....	347
6.2.5	Ausgangsstoffe.....	352
6.2.5.1	Reaktionsharze.....	352
6.2.5.2	Verstärkungsmaterialien.....	354
6.2.5.3	Füllstoffe/Farbmittel.....	355
6.2.6	Qualität von Pressteilen.....	358
6.2.7	Mögliche Fehler und ihre Ursachen.....	360
6.2.8	Ausblick.....	361
6.3	Wickelfahren.....	361
6.3.1	Einleitung.....	361

---

6.3.2	Verfahrensgrundlagen .....	362
6.3.3	Anlagentechnik .....	365
6.3.4	Duroplastwickeln .....	367
6.3.5	Thermoplastwickeln.....	370
6.3.6	Qualität .....	375
6.3.7	Weitere Entwicklung.....	375
6.4	Profilziehverfahren.....	377
6.4.1	Einleitung / Geschichtliches.....	377
6.4.2	Verfahrensgrundlagen .....	378
6.4.3	Anlagenteile .....	379
6.4.4	Ausgangsstoffe.....	381
6.4.5	Gestaltungsparameter.....	384
6.4.6	Eigenschaften .....	386
6.4.7	Qualität.....	387
6.4.8	Weiterverarbeitung .....	387
6.4.9	Anwendungsbeispiele .....	387
6.5	Injektionsverfahren .....	390
6.5.1	Einführung.....	390
6.5.2	RTM-Verfahrensablauf.....	391
6.5.3	Verfahrensgrundlagen .....	392
6.5.4	Betriebsmittel .....	393
6.5.5	Ausgangsstoffe.....	394
6.5.6	Prozessvarianten/Gestaltungsoptionen.....	395
6.5.7	Zusammenfassung.....	396
6.5.8	Qualität .....	396
6.6	Das Spaltimprägnierverfahren .....	398
6.6.1	Einleitung .....	398
6.6.2	Konzept des Spaltimprägnierverfahrens .....	399
6.6.3	Formfüllvorgang im Spaltimprägnierverfahren .....	400
6.6.4	Fertigung von ebenen, monolithischen Bauteilen.....	402
6.6.5	Analyse der Fertigung von gekrümmten Sandwichbauteilen .....	404
6.6.6	Fazit und Ausblick.....	405
6.7	Heißpressen von SMC/BMC .....	407
6.7.1	Einführung/Geschichtliches .....	407
6.7.2	Verfahrensgrundlagen .....	408
6.7.3	Betriebsmittel .....	408
6.7.4	Produktionswerkzeuge/Hilfsmittel.....	415
6.7.5	Gestaltungsrichtlinien .....	418
6.7.6	Nachbehandlung.....	427
6.7.7	Qualität/Eigenschaften .....	427
6.8	Hochdruckpressen von GMT/LFT.....	428
6.8.1	Einführung/Geschichtliches .....	428
6.8.2	Verfahrensgrundlagen .....	429
6.8.3	Betriebsmittel/Verfahrensablauf.....	430
6.8.4	Ausgangsstoffe.....	432
6.8.5	Produktionswerkzeuge/Hilfsmittel.....	433
6.8.6	Gestaltungsrichtlinien .....	434
6.8.7	Nachbehandlung.....	436

---

6.8.8	Qualität/Eigenschaften .....	438
6.9	Spritzgießen von BMC .....	439
6.9.1	Einführung.....	439
6.9.2	Verfahrensgrundlagen .....	440
6.9.3	Betriebsmittel .....	442
6.9.4	Produktionswerkzeuge .....	445
6.9.5	Nachbehandlung.....	446
6.9.6	Qualität und Eigenschaften .....	446
6.10	Spritzgießen langfaserverstärkter Thermoplaste (LFT).....	447
6.10.1	Einführung.....	447
6.10.2	Prinzip der Langfaserverstärkung .....	448
6.10.3	Verfahrensgrundlagen.....	450
6.10.4	Betriebsmittel/Verfahrensablauf.....	451
6.10.5	Ausgangsstoffe .....	455
6.10.6	Verfahrenskombination für zielgerichtete Bauteilverstärkung.....	457
6.10.7	Ausblick und Entwicklungstendenzen .....	460
6.11	Kontinuierliches Laminieren .....	461
6.11.1	Einführung.....	461
6.11.2	Verfahrenstechnische Grundlagen.....	462
6.11.3	Ausgangsstoffe/Hilfsmittel.....	463
6.11.4	Kontinuierliche Herstellung planer Platten und Bahnen .....	469
6.11.5	Produkte – Konstruktion – Eigenschaften – Anwendungen.....	474
6.11.6	Qualität.....	479
6.12	Schleuderverfahren .....	480
6.12.1	Einführung.....	480
6.12.2	Grundlagen des Schleuderverfahrens.....	480
6.12.3	Fertigungseinrichtungen.....	481
6.12.4	Verfahrenstechnik.....	482
6.12.5	Verfahrensbedingte Produktmerkmale .....	483
6.12.6	Qualitätssicherung.....	484
6.13	Umformen endlosfaserverstärkter Thermoplaste.....	485
6.13.1	Einführung.....	485
6.13.2	Ausgangssituation .....	485
6.13.3	Verfahrensablauf.....	486
6.13.4	Umformverfahren, Betriebsmittel und Einsatzmöglichkeiten .....	487
6.14	Automatisierte Legeverfahren .....	492
6.14.1	Einleitung .....	492
6.14.2	Verfahrensgrundlagen.....	493
6.14.3	Anlagentechnik.....	494
6.14.4	Duroplast-Tapelegen .....	495
6.14.5	Thermoplast-Tapelegen.....	495
6.15	LFI-Verfahren .....	496
6.15.1	Einleitung .....	496
6.15.2	Verfahrensablauf.....	496
6.15.3	Anlagentechnik.....	497
6.15.4	Prozessüberwachung.....	505
6.15.5	Prozessvarianten.....	506
6.15.6	Zusammenfassung und Ausblick.....	507

6.16	Fertigteilbearbeitung.....	509
6.16.1	Spanende Bearbeitung.....	513
6.16.1.1	Fräsen .....	513
6.16.1.2	Bohren .....	516
6.16.1.3	Stanzen .....	518
6.16.1.4	Ultraschallschwinglappen.....	519
6.16.2	Strahl-Bearbeitung .....	521
6.16.2.1	Wasserstrahlschneiden.....	521
6.16.2.2	Laserstrahlschneiden .....	523
6.16.3	Fügetechnik .....	525
6.16.3.1	Oberflächenbehandlung.....	525
6.16.3.2	Kleben von FVK .....	527
6.16.3.3	Schweißen von FVK .....	531
6.16.3.4	Mechanisches Fügen .....	533
6.16.3.5	Weitere in der Praxis angewandte Verbindungstechniken.....	542
<b>7</b>	<b>Normung .....</b>	<b>547</b>
7.1	Normung als Instrument der Wirtschaft.....	547
7.2	Institutionen der Normungsarbeit .....	547
7.2.1	Der Fachnormenausschuss Kunststoffe (FNK) im Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN).....	547
7.2.1.1	Aufgabenbeschreibung des FNK.....	548
7.2.1.2	Organisationsschema des FNK.....	548
7.2.1.3	Finanzierung der Normungsarbeit.....	552
7.2.1.4	Berichte und Arbeitsergebnisse aus den Gremien .....	552
7.2.2	Die „International Standard Organisation (ISO)“ .....	555
7.2.3	Das „Comité Européen de Normalisation“ (CEN).....	556
7.2.4	Die wichtigsten Gremien des FNK mit ihren Internationalen Spiegelgremien .....	558
7.2.5	Das Europäische Normungsverfahren.....	559
7.3	Werdegang einer internationalen Norm .....	561
7.3.1	Verfahren .....	561
7.3.2	Kosten einer Norm .....	561
7.3.3	Weitere Komitees .....	562
<b>8</b>	<b>Prüfverfahren .....</b>	<b>564</b>
8.1	Einleitung.....	564
8.2	Die wichtigsten Bestimmungen im Überblick.....	564
<b>9</b>	<b>Prüfzeichen .....</b>	<b>586</b>
<b>10</b>	<b>Die AVK stellt sich vor .....</b>	<b>589</b>
	<b>Stichwortverzeichnis.....</b>	<b>591</b>
	<b>Verzeichnis der Themenverantwortlichen und der Autoren.....</b>	<b>593</b>