

Ralf Janda

# Kunststoff Verbundsysteme

Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung,  
Prüfung



# Inhalt

<b>Vorwort</b>	. . . . .	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	. . . . .	<b>1</b>
<b>2 Definitionen und Abkürzungen</b>	. . . . .	<b>3</b>
<b>3 Matrixkunststoffe: Herstellung, Strukturen, Eigenschaften</b>	. . . . .	<b>7</b>
<b>3.1 Herstellung von Matrixkunststoffen durch Polyreaktionen</b>	. . . . .	<b>7</b>
3.1.1 Polymerisation	. . . . .	9
3.1.1.1 Radikalische Polymerisation	. . . . .	10
3.1.1.2 Anionische Polymerisation	. . . . .	12
3.1.1.3 Kationische Polymerisation	. . . . .	13
3.1.1.4 Andere Polymerisationsreaktionen	. . . . .	14
3.1.1.5 Ausführungsformen der Polymerisation	. . . . .	15
3.1.2 Polykondensation	. . . . .	16
3.1.3 Polyaddition	. . . . .	19
<b>3.2 Umwandlung polymerer Matrixkunststoffe</b>	. . . . .	<b>20</b>
3.2.1 Pffropfung	. . . . .	20
3.2.2 Vernetzung von Polymeren, Vulkanisation	. . . . .	21
3.2.3 Alterung, Depolymerisation	. . . . .	23
<b>3.3 Strukturen und Eigenschaften von Matrixkunststoffen</b>	. . . . .	<b>26</b>
3.3.1 Primärstrukturen, Homopolymere, Copolymere, Vernetzung	. . . . .	26
3.3.2 Sekundärstrukturen, Nebenvalenzkräfte	. . . . .	30
3.3.3 Thermoplaste, Elastomere, Duromere	. . . . .	32
3.3.4 Interpenetrierende Netzwerke	. . . . .	33
<b>3.4 Einteilung der Matrixkunststoffe nach Verbindungsklassen</b>	. . . . .	<b>34</b>
3.4.1 Einteilung nach Verknüpfungsarten	. . . . .	34
3.4.1.1 Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung	. . . . .	34
3.4.1.2 Esterbindung	. . . . .	38
3.4.1.3 Amid-Bindung	. . . . .	41
3.4.1.4 Urethan-Bindung	. . . . .	42
3.4.1.5 Ether-Bindung	. . . . .	43
3.4.1.6 Siloxan-Bindung	. . . . .	46
3.4.1.7 Spezielle Verknüpfungsarten und -kombinationen	. . . . .	47
3.4.2 Spezielle Polymersysteme	. . . . .	50

3.4.2.1	Polymer Blends.	50
3.4.2.2	Nichtschrumpfende bzw. expandierende Polymere.	50
3.4.2.3	Elektrisch leitfähige Polymere.	51
<b>4</b>	<b>Füllstoffe</b>	<b>.53</b>
<b>4.1</b>	<b>Anwendungsformen, Anforderungen und Eigenschaften</b>	<b>.53</b>
<b>4.2</b>	<b>Silikate</b>	<b>.57</b>
4.2.1	Glas.	57
4.2.1.1	Glasfasern und Gewebe.	57
4.2.1.2	Andere Glasanwendungsformen.	59
4.2.2	Weitere Silikate.	59
<b>4.3</b>	<b>Metalle und Metalloxide</b>	<b>.61</b>
<b>4.4</b>	<b>Polymere</b>	<b>.62</b>
4.4.1	Naturstoffe.	62
4.4.2	Synthetische Produkte.	62
4.4.2.1	Fasern.	62
4.4.2.2	Andere Anwendungsformen.	64
<b>4.5</b>	<b>Kohlenstoff</b>	<b>.64</b>
<b>4.6</b>	<b>Polykieselsäuren</b>	<b>.65</b>
<b>4.7</b>	<b>Weitere Füllstoffarten</b>	<b>.66</b>
<b>5</b>	<b>Additive</b>	<b>.69</b>
<b>5.1</b>	<b>Stabilisierung von Monomeren und Polymeren</b>	<b>.70</b>
<b>5.2</b>	<b>Verarbeitungshilfsmittel</b>	<b>.74</b>
<b>5.3</b>	<b>Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften</b>	<b>.75</b>
<b>5.4</b>	<b>Erzeugung bestimmter Produktcharakteristika</b>	<b>.76</b>
<b>6</b>	<b>Chemie und Physik der Kunststoffverbundwerkstoffe</b>	<b>.79</b>
<b>6.1</b>	<b>Aufbau, Zusammensetzung, Herstellung und Verarbeitung</b>	<b>.79</b>
6.1.1	Matrixkunststoffe.	80
6.1.2	Füllstoffe.	86
6.1.2.1	Aktive Füllstoffe.	89
6.1.2.2	Inaktive Füllstoffe.	91
6.1.3	Additive.	92
6.1.4	Verbund Matrixkunststoff - Füllstoff	93
6.1.4.1	Verbund zu anorganischen Füllstoffen.	93
6.1.4.2	Verbund zu organischen Füllstoffen.	102
6.1.4.3	Verbund zu Kohlenstoff.	105

6.1.5	Herstellung und Verarbeitung . . . . .	107
6.1.5.1	Pulver- und kurzfaserverstärkte Polymere . . . . .	108
6.1.5.2	Faser-, fasermatten- und gewebeverstärkte Polymere . . . . .	114
<b>6.2</b>	<b>Festigkeitseigenschaften</b> . . . . .	118
6.2.1	Beispiele hochfester Verbundkunststoffe . . . . .	119
6.2.1.1	Verstärkte Thermoplaste . . . . .	120
6.2.1.2	Verstärkte Elastomere . . . . .	125
6.2.1.3	Verstärkte Duromere . . . . .	128
6.2.2	Abhängigkeit der Festigkeit von Menge, Art und Orientierung der Füllstoffe . . . . .	134
6.2.2.1	Pulververstärkte Polymere . . . . .	134
6.2.2.2	Faserverstärkte Polymere . . . . .	139
6.2.2.3	Hybridverstärkte Polymere . . . . .	148
6.2.3	Einige mathematisch-physikalische Zusammenhänge zur Verstärkung . . . . .	149
6.2.4	Prüfparameter und -methoden . . . . .	154
6.2.4.1	Kurzzeit-Spannungs-Dehnungsverhalten . . . . .	157
6.2.4.2	Langzeit-Spannungs-Dehnungsverhalten . . . . .	163
6.2.4.3	Temperaturabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften . . . . .	164
<b>6.3</b>	<b>Weitere physikalische Eigenschaften</b> . . . . .	166
6.3.1	Reibung / Verschleiß / Abrieb . . . . .	166
6.3.2	Elektrische Eigenschaften . . . . .	169
6.3.3	Thermische Eigenschaften / Temperatureinfluß . . . . .	173
6.3.4	Beständigkeit gegen sehr hohe Temperaturen und Feuereinwirkung . . . . .	177
6.3.5	Weitere physikalische Eigenschaften . . . . .	182
<b>6.4</b>	<b>Chemische Eigenschaften</b> . . . . .	185
<b>6.5</b>	<b>Alterungs- und Ermüdungsprozesse</b> . . . . .	187
6.5.1	Mechanische Einflüsse . . . . .	188
6.5.2	Physikalische und chemische Einflüsse . . . . .	192
6.5.3	Bewitterung . . . . .	194
6.5.4	Biologischer Abbau . . . . .	195
<b>7</b>	<b>Einsatzbereiche und Anforderungen für Kunststoffverbundwerkstoffe</b> . . . . .	197
<b>7.1</b>	<b>Allgemeine Konstruktionsprinzipien</b> . . . . .	197
<b>7.2</b>	<b>Bauwesen</b> . . . . .	202
7.2.1	Konstruktion . . . . .	203
7.2.2	Außenanwendung . . . . .	206
7.2.3	Innenanwendung . . . . .	209
<b>7.3</b>	<b>Technik</b> . . . . .	210
7.3.1	Fahrzeugbau . . . . .	210
7.3.2	Luft- und Raumfahrt . . . . .	213
7.3.3	Elektrotechnik und Elektronik . . . . .	215

7.3.4	Maschinen- und Werkzeugbau . . . . .	218
7.3.5	Sonstige Anwendungen . . . . .	219
<b>7.4</b>	<b>Medizin . . . . .</b>	220
7.4.1	Humanmedizin . . . . .	220
7.4.2	Zahnmedizin . . . . .	225
7.4.3	Veterinärmedizin . . . . .	229
<b>8</b>	<b>Klebstoffe . . . . .</b>	231
<b>8.1</b>	<b>Aufbau, Zusammensetzung und Herstellung . . . . .</b>	232
8.1.1	Matrixkunststoffe . . . . .	235
8.1.1.1	Thermoplaste . . . . .	236
8.1.1.2	Elastomere . . . . .	238
8.1.1.3	Duroplaste . . . . .	240
8.1.2	Hilfsstoffe . . . . .	243
8.1.3	Herstellung . . . . .	245
<b>8.2</b>	<b>Verarbeitung . . . . .</b>	246
8.2.1	Geometrische Gestaltung der Klebeflächen . . . . .	246
8.2.2	Vorbehandlung der Klebeflächen . . . . .	249
8.2.3	Klebstoffauswahl und -anwendung . . . . .	252
<b>8.3.</b>	<b>Theoretische Grundlagen der Haftung . . . . .</b>	256
8.3.1	Benetzung und Benetzbarkeit . . . . .	257
8.3.2	Mechanischer Verbund . . . . .	259
8.3.3	Chemischer und adhäsiver Verbund . . . . .	260
<b>8.4</b>	<b>Verbundfestigkeiten . . . . .</b>	262
8.4.1	Beispiele hochfester Klebstoffe . . . . .	262
8.4.2	Prüfparameter und -methoden . . . . .	267
8.4.2.1	Klebfestigkeitsmessung . . . . .	268
8.4.2.2	Alterungsprozesse . . . . .	273
<b>8.5</b>	<b>Einsatzbereiche und Anforderungen . . . . .</b>	275
8.5.1	Bauwesen . . . . .	275
8.5.2	Technik . . . . .	276
8.5.3	Medizin . . . . .	278
<b>9</b>	<b>Weitere Kunststoffverbundsysteme . . . . .</b>	283
<b>9.1</b>	<b>Lacke und Anstrichstoffe . . . . .</b>	283
<b>9.2</b>	<b>Dichtungsmassen . . . . .</b>	287
<b>10</b>	<b>Toxikologie . . . . .</b>	291
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	295
	<b>Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	309