

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	<i>XI</i>
Vorwort	<i>XIII</i>
1	Einführung: Begriffe und Bedeutung der Fasercharakterisierung 1
1.1	Begriffe und Definitionen 1
1.1.1	Faser, Faserbündel, Faserkollektiv 2
1.1.2	Faserform 7
1.1.2.1	Längsform 8
1.1.2.2	Querschnittsform 15
1.1.2.3	Oberflächenform 16
1.1.3	Übersicht der morphologisch bestimmten Faserformen 20
1.1.4	Schlussfolgerung 20
	Literatur 20
1.2	Holzfaserverwerkstoffe 22
1.2.1	Holzwerkstoffe auf der Basis von Holzfasern 22
1.2.1.1	Herstellung von Holzfaserverwerkstoffen 24
	Literatur 31
1.3	Naturfaser-Kunststoff-Verbundwerkstoffe 32
1.3.1	Naturfasern und textile Halbzeuge für Faserverbundwerkstoffe 33
1.3.2	Einfluss der Längsform 39
1.3.3	Einfluss der Querschnittsform 40
1.3.4	Einfluss aus Längs- und Querschnittsform (Faser-Aspektverhältnis) 44
1.3.5	Einfluss der Oberflächenform 45
1.3.6	Einfluss der Orientierung 46
1.3.7	Mitnahmebotschaft 50
	Literatur 51
2	Standardisierte Verfahren zur Charakterisierung von Fasern und Partikeln 55
2.1	Begriffe und Klassifizierung der Fasercharakterisierung 55
2.2	Bestandsaufnahme 56
2.2.1	Makroskopische Verfahren 56
2.2.1.1	Sichtanalyse 56
2.2.1.2	Siebanalyse 57

VI | *Inhaltsverzeichnis*

2.2.1.3	Entwässerungsverhalten	62
2.2.1.4	Ultraschall	64
2.2.1.5	Sonstige standardisierte Verfahren	64
2.2.2	Partikelbezogene Messverfahren	64
2.2.2.1	Bildverarbeitung	64
2.2.2.2	Laserbeugung	65
2.2.2.3	Optische Faservermessung	67
2.2.2.4	Statistische Charakterisierung	68
2.3	Bedarf an Entwicklung und Normung	68
	Literatur	69
3	Bildverarbeitungsmethoden zur Charakterisierung der Faserform	73
3.1	Verfahren zur Bilddatenakquisition	74
3.1.1	Historische Methoden	74
3.1.2	Gewinnung digitaler Bilddaten	75
3.1.3	Bildsensoren	79
3.1.3.1	Flächenkameras	79
3.1.3.2	Digitalmikroskope	79
3.1.3.3	Zeilenkameras	80
3.1.3.4	Flachbettscanner	80
3.1.4	Auflösung und Kalibrierung von Bilddaten	81
3.1.5	Reproduzierbarkeit optischer Größenvermessungen	82
3.1.6	Statische Bilddatenakquisition – Prinzip	82
3.1.7	Geräte für die statische Größenmessung an Fasern	83
3.1.8	Dynamische Bilddatenakquisition – Prinzip	84
3.1.9	Geräte für die dynamische Fasergrößenmessung	84
3.1.10	Spezielle Aufnahmeverfahren für Papierfasern	85
3.1.11	Dreidimensionale Aufnahmeverfahren für Partikel	87
3.1.12	Vergleichende Übersicht: Verfahren und Geräte zur Bilddatengewinnung an Fasern	88
3.2	Verfahren zur Bildvorverarbeitung und Bildsegmentierung	88
3.2.1	Vorverarbeitung von Bilddaten	89
3.2.2	Segmentierung von Bildern	91
3.3	Mathematische Modelle zur Beschreibung von Größenkennwerten	94
3.3.1	Allgemeine Verfahren zur Beschreibung kompakter Objekte	94
3.3.2	Deskriptoren für eine allgemeine Größeneigenschaft	95
3.3.3	Deskriptoren für zwei Größeneigenschaften	96
3.3.4	Deskriptoren für allgemeine Formeigenschaften	98
3.3.5	Spezielle Verfahren zur Beschreibung von Faserkonturen	99
3.4	Darstellung von Kenngrößen in Statistiken	101
3.4.1	Grafische Darstellung von Größenverteilungen	101
3.4.2	Charakterisierung von Verteilungen durch Kenngrößen	103
3.4.3	Bewertung von Statistiken	107
3.4.4	Mitnahgebotschaft	108
	Literatur	109

4	Verfügbare Analytikmethoden und -geräte	113
4.1	Morphologische Verfahren	115
4.1.1	Zweidimensionale Bildaufnahme und -analyse	115
4.1.1.1	FibreShape	115
	Literatur	128
4.1.1.2	FASEP®	129
	Literatur	137
4.1.1.3	Dynamische Bildanalyse zur Charakterisierung von Fasern: QICPIC	138
	Literatur	147
4.1.2	Dreidimensionale Bildaufnahme und -analyse	148
4.1.2.1	Grundlagen der industriellen Computertomografie	148
	Literatur	159
4.1.2.2	Dreidimensionale Bildverarbeitung von Mikro-CT-Daten	161
4.1.3	Mikroskopische und elektronische Verfahren	171
4.1.3.1	Rasterelektronenmikroskopie (REM)	171
	Literatur	183
4.1.3.2	Lichtmikroskopische Vermessung von Wollfasern	184
	Literatur	189
4.1.3.3	Konfokale Laserscanmikroskopie	189
	Literatur	196
4.1.3.4	Längenmessung an langen Fasern mittels Almeter	197
	Literatur	199
4.2	Mechanische Faserprüfung	199
4.2.1	Einleitung	199
4.2.2	Kollektivzugprüfung mittels Stelometer	201
4.2.3	Einzelelementprüfung	203
4.2.3.1	Einzelelementzugprüfung mittels Dia-Stron	203
4.2.3.2	Einzelelementbiegeprüfung mittels Dia-Stron	206
4.2.3.3	Einzelelementzugprüfung mittels Textechno FAVIGAPH und FAVIMAT+	206
4.2.3.4	Faser-Matrix-Haftung: Textechno FIMATEST	207
	Literatur	212
4.2.4	Messung der Faser-Matrix-Haftung	213
4.2.4.1	Motivation	213
4.2.4.2	Einleitung	213
4.2.4.3	Begriffe und Definitionen	214
4.2.4.4	Methoden	217
4.2.4.5	Verfahrensvergleich und Kritik	243
	Literatur	246
5	Modellierung und Simulation	255
5.1	Simulation und Modellierung von Faserverstärkungen beim Spritzgießen	255
5.1.1	Einleitung	256
5.1.2	Grundlagen der Strömungsmechanik	257
5.1.2.1	Erhaltungsgleichungen	257
5.1.2.2	Rheologie von Polymerschmelzen	258
5.1.2.3	Grundlagen numerischer Strömungsmechanik	260

VIII | *Inhaltsverzeichnis*

- 5.1.3 Vorhersage von Faserorientierung, Faserlänge und Faservolumengehalt 261
 - 5.1.3.1 Beschreibung der Faserorientierung 261
 - 5.1.3.2 Vorhersage der Faserorientierung 263
 - 5.1.3.3 Vorhersage des Faservolumengehalts 264
 - 5.1.3.4 Vorhersage der Faserlänge 265
- 5.1.4 Berücksichtigung der Fasereigenschaften in Struktursimulationen 266
 - 5.1.4.1 Mapping 266
 - 5.1.4.2 Homogenisierung 266
- 5.1.5 Praxisbeispiel 268
 - Literatur 271
- 5.2 Mathematische Synthese und Modellierung der Eigenschaften von Holzfasernetzwerken 273
 - 5.2.1 Einleitung 273
 - 5.2.2 Analyse- und Simulationsverfahren für die Struktur von Holzfaserverwerkstoffen 276
 - 5.2.2.1 Werkstoff 276
 - 5.2.2.2 Berechnung der Faserorientierung 278
 - 5.2.2.3 Segmentierung von Faserbündeln 284
 - 5.2.3 Konstruktion eines virtuellen Fasernetzwerkes mit *GeoDict* 286
 - 5.2.4 Zweiskalensimulation zur Berechnung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften von Holzfaserverwerkstoffen 289
 - 5.2.5 Simulationsergebnisse 291
 - 5.2.5.1 Einfluss von Faserbündeln auf die Steifigkeit und Festigkeit von MDF 291
 - 5.2.5.2 Einfluss des Ausrichtungsgrads der Holzfasern auf die makroskopischen mechanischen Eigenschaften der MDF 296
 - 5.2.6 Mitnahmebotschaft 297
 - Literatur 298
- 6 Prozessnahe optische Messtechniken 301**
 - 6.1 FiberView – System zur Inlinefaserqualitätskontrolle und Refiner-Optimierung in der Holzwerkstoffindustrie 301
 - Literatur 310
 - 6.2 Vergleich zwischen statischer und dynamischer Bildanalyse am Beispiel von Holzpartikeln 311
 - 6.2.1 Problemstellung 311
 - 6.2.2 Stand der Normung für WPC 312
 - 6.2.3 Rohstoffe 313
 - 6.2.4 Untersuchte Messsysteme 313
 - 6.2.5 Vergleich der Geräteeigenschaften 314
 - 6.2.6 Vergleichende Charakterisierung der Größenverteilungen 315
 - 6.2.7 Vergleich optisch bestimmter Größenverteilungen mit der Siebkurve 318
 - 6.2.8 Diskussion und Schlussfolgerungen 319
 - 6.2.9 Mitnahmebotschaft 319
 - Literatur 319
 - 6.3 Dynamische Vermessung von Holzfasern und Holzfaserbündeln mit dem QICPIC-Messsystem 320

6.3.1	Gerätekonfiguration	321
6.3.2	Durchführung der Messung	322
6.3.3	Anwendungsbeispiel: Einfluss der Holzfeuchte auf das Mahlverhalten von Buchenholz (<i>Fagus sylvatica</i>)	326
6.3.4	Fazit	327
	Literatur	327
6.4	Inlinemessung der Faserorientierung	328
6.4.1	Messtechnik	329
6.4.2	Bildanalytische Bestimmung der Faserorientierung	329
6.4.3	Weitere Anwendungsgebiete	331
6.4.4	Zusammenfassung	333
	Literatur	334
	Autorinnen und Autoren	337
	Stichwortverzeichnis	349

