

## Inhaltsverzeichnis

**Geleitwort XI**

**Vorwort XIII**

<b>1</b>	<b>Einführung: Begriffe und Bedeutung der Fasercharakterisierung</b>	<b>1</b>
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	Holzfaserwerkstoffe	22
1.2.1	Holzwerkstoffe auf der Basis von Holzfasern	22
1.2.1.1	Herstellung von Holzfaserwerkstoffen	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	Mitnahmehbotschaft	50
	Literatur	51
<b>2</b>	<b>Standardisierte Verfahren zur Charakterisierung von Fasern und Partikeln</b>	<b>55</b>
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

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
<b>3</b>	<b>Bildverarbeitungsmethoden zur Charakterisierung der Faserform</b>	<b>73</b>
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	Mitnahmebotschaft	108
	Literatur	109

<b>4</b>	<b>Verfügbare Analytikmethoden und -geräte</b>	<b>113</b>
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	Einzelementprüfung	203
4.2.3.1	Einzelementzugprüfung mittels Dia-Stron	203
4.2.3.2	Einzelementbiegeprüfung mittels Dia-Stron	206
4.2.3.3	Einzelementzugprüfung 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
<b>5</b>	<b>Modellierung und Simulation</b>	<b>255</b>
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

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 Holzfaserwerkstoffen	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 <i>GeoDict</i>	286
5.2.4	Zweiskalensimulation zur Berechnung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften von Holzfaserwerkstoffen	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
<b>6</b>	<b>Prozessnahe optische Messtechniken</b>	<b>301</b>
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    Gerät konfiguration 321
  - 6.3.2    Durchführung der Messung 322
  - 6.3.3    Anwendungsbeispiel: Einfluss der Holzfeuchte auf das Mahlverhalten von Buchenholz (*Fagus sylvatica*) 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 Anwendungsbereiche 331
  - 6.4.4     Zusammenfassung 333
  - Literatur 334
- Autorinnen und Autoren** 337
- Stichwortverzeichnis** 349