

Längenmessung von Stapelfasern mit einer Länge von 0,03 mm bis 40 cm. Wieso ist die Längenanalyse wichtig?

Referent: Dr. Hubert Schmid, Isabel Schmid, IST AG – Fiber & Particle Analysis, Schweiz

1 Einleitung

Die Stapellänge¹ ist ein wichtiges Kriterium für Spinnfasern, Flockfasern und die Herstellung von Hybridgarnen und Hybridvliesen. Wieso und wie die Stapellänge gemessen wird, soll in diesem Beitrag erläutert werden.

Für die Analyse der Stapelfasern in einem Längenmessbereich von 0,025mm bis 40cm sind verschiedene FibreShape Systeme mit überlappenden Längenmessbereichen verfügbar bzw. in Entwicklung. Die FibreShape Messsysteme basieren auf der Analyse von Bildern, die mit Scannersystemen mit unterschiedlicher optischer Auflösung eingescannt wurden. Fasern von 0,025mm – 50mm bzw. 0,06mm - 150mm Länge und Faserdicken > 5µm können mit den bestehenden FibreShape M und FH Systemen mit Scannern mit 3200dpi und 1600dpi optischer Auflösung analysiert werden. Zur Vermessung von Faserlängen von 1cm bis 40cm befindet sich derzeit das Pilotsystem FibreScanner im Aufbau.

FibreShape wird für die Analyse von unterschiedlichen Fasermaterialien verwendet. Als Beispiele werden in diesem Beitrag Flockfasern aus Polyamid und recycelte Karbonfasern (rCF) diskutiert. Als Einstieg werden die Antworten von Anwendern aufgeführt, die befragt wurden, wieso die Längenanalyse in ihrem Anwendungsbereich wichtig ist. In einer kurzen Präsentation des FibreShape Systems und des FibreScanner's wird in Kapitel 3 auf die Frage eingegangen, wie die Längenanalyse durchgeführt wird. In Kapitel 4 werden Längenverteilungskurven von den zwei Beispielen präsentiert und diskutiert.

2 Längenanalyse aus Sicht des Anwenders

Die Längenmessung zur Qualitätsüberwachung des Schneidprozesses ist ein wichtiges Argument in der Längenanalyse. Die Befragung von Anwendern aus zwei verschiedenen Anwendungsbereichen bringt weitere Antworten hervor, wieso die Längenanalyse zentral ist.

2.1 rCF Fasern in Hybridgarnen und Hybridvliesen

Auf die Frage wieso Längenanalyse wichtig ist, erhielten wir von einem unserer Anwendern, der FibreShape für die Längenanalyse von rCF verwendet, folgende Antworten:

- um die textiltechnische Verarbeitbarkeit zu überprüfen: es ist wichtig dass bekannt ist wie lang die Fasern sind, damit verifiziert werden kann, ob die Länge anders eingestellt werden muss.
- um den Aufbereitungsprozess zu kontrollieren: wie stark sind die recycelten Fasern im Recyclingprozess beschädigt worden.

1 Stapelfasern sind Fasern mit einer endlichen Länge, die zur Herstellung von Garnen miteinander versponnen werden. Die durchschnittliche Länge von Spinnfasern wird Stapellänge genannt.

- um die Faserlänge einzustellen: die Faserlänge wird genutzt um unterschiedliche Effekte zu erzielen
- um die Materialeigenschaften zu verbessern: die Faserlänge beeinflusst die Eigenschaften, die die verarbeiteten Fasern in einem Bauteil haben.

2.2 Flockfasern

Die Bedeutung der Flocklänge² bei der Beflockung beschreibt ein anderer Anwender wie folgt:

- wenn das Flockmaterial immer die gleiche Schnittlänge hat entsteht ein gleichmässiger und dichter Flor. Ausreißer mit Überlängen sind unschön und bei Überlängen von mehr als der 3- fachen Nennlänge entstehen auch elektrostatische Effekte durch diese Fasern.
- Die überlangen Fasern wirken im Klebstoff wie eine Antenne und behindern nachfolgende Fasern beim Eindringen in den Klebstoff, was sich als sichtbare Krater in der Flockfläche darstellt. Kraterbildung ist eines der massivsten Negativ- Qualitätseinflüsse bei der Flächenbeflockung.
- Faserlängen von mehr als 4mm sind flocktechnisch nicht relevant, da sich das Faserlängen- / Durchmesser- Verhältnis verschlechtert. Die Fasern sind nicht mehr gerade zylindrisch sondern gebogen bis verfilzt. Ein Ausdosieren und Applizieren wird dadurch immer schwieriger bis unmöglich.

3 FibreShape und FibreScanner

3.1 Die Messverfahrensschritte von FibreShape

Das FibreShape Messverfahren besteht aus den folgenden 5 Messverfahrensschritten:

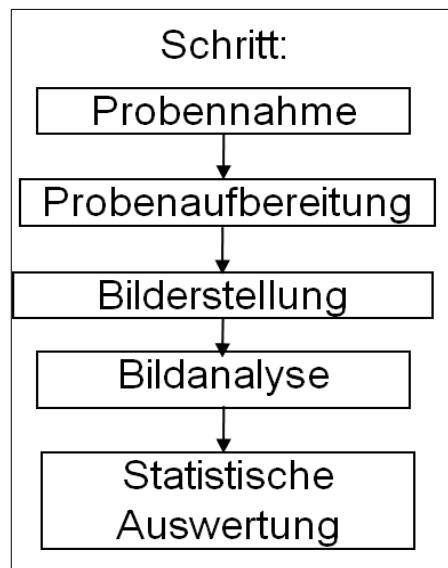


Abb. 1: Die 5 Verfahrensschritte von FibreShape

Bei jedem Schritt müssen folgenden Fragen geklärt werden:

Schritt 1: Wie und wie oft muss eine Probe genommen werden?

2 Übliche Faserlängen bei der Beflockung sind 0,3 bis 4,0mm

Schritt 2: Wie kann die ausreichende Dispergierung erreicht werden?

Schritt 3: Mit welchen Parametern muss eingescannt werden?

Schritt 4: Welche Parameter sollen vermessen werden?

Schritt 5: Wie soll ausgewertet werden?

Dabei ist bei jedem Punkt von entscheidender Bedeutung, welches Material vermessen werden soll.

3.1.1 Schritt 1: Probennahme

Die Art der Probennahme ist stark von dem Fasermaterial abhängig. Die Anzahl der Probennahmen ergibt sich aus den Anforderungen der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse [4].

3.1.2 Schritt 2: Probenpräparation

Das Ziel jeder Probenpräparation ist, die Faserstoffe so zu vereinzeln (dispergieren), dass genügend signifikante Objekte für die Auswertung mit erfasst werden können. Die Anforderungen an die Vereinzelnung sind hier sehr stark vom zu untersuchenden Material als auch den zur Anwendung kommenden Auswertelgorithmen abhängig. Der Grad der Vereinzelnung kann mit der Flächendichte der Objekte auf der Trägerfläche beschrieben werden. Diese Flächendichte wird als Bildflächenanteil AO der Objekte am Gesamtbild erfasst ($AO = \text{Fläche aller Objekte} / \text{Gesamte Bildfläche}$).

Grundsätzlich existieren zwei Algorithmenklassen mit folgenden Anforderungen:

- Die Fasern müssen isoliert vorliegen (FibreShape mit Rechteckmodell)
- Die Fasern können überkreuz in Fasernetzwerken vorliegen (FiVer mit Vektorisierung eines Faserverlaufes über die Kreuzungspunkte hinweg)

Die Faservereinzelnung kann in trockenem Zustand oder in Flüssigkeit erfolgen. Bei der Flüssigkeitspräparation ist auf den Brechungsindex des zu untersuchenden Materials zu achten. So liegt der Brechungsindex von bestimmten Glasqualitäten mit 1.4 so nahe an dem von Wasser mit 1.3, dass der Kontrast dieser Glasfasern in Wasser fast verschwindet. Es empfiehlt sich daher immer Flüssigkeiten mit Brechungsindizes zu verwenden, deren Wert sich deutlich vom Brechungsindex der zu untersuchenden Materialien unterscheidet.

3.1.3 Schritt 3 - 5

FibreShape besteht aus einem leistungsstarken PC, der FibreShape Software und einem Scanner und/oder Mikroskop. FibreShape ist aus der Bildanalysesoftware DiaShape zur Charakterisierung von Diamanten hervorgegangen [1]. Bei der Längenmessung von Fasern mittels Bildanalyse ist es unbedingt notwendig, dass Fasern über die gesamte Länge abgebildet werden müssen. Außerdem darf die Faserbreite nicht wesentlich kleiner als die Pixelgröße sein. Das heißt, dass Fasern mit Schlankheitsgraden [3] (Verhältnis von Länge/Breite) von über 1000 nur mit Bildern mit mehreren 1000 Pixeln Kantenlänge abgebildet werden können. Zur Längenmessung von Fasern kommen daher heute fast ausschließlich Scanner in Frage. Nur mit Scannern können sehr große Flächen mit hoher Auflösung in einem

Bild erzeugt werden. FibreShape arbeitet daher typischerweise mit Bildern von 100 Mio Pixel (entspricht z.B. 10'000 x 10'000 Pixel) um Faserlängen vermessen zu können.

Zur Vermessung der Länge von Fasern sind heute 2 Systeme im Einsatz:

- FibreShape M zur Messung von Faserlängen von 0,025 – 50mm (s. Abb.2)

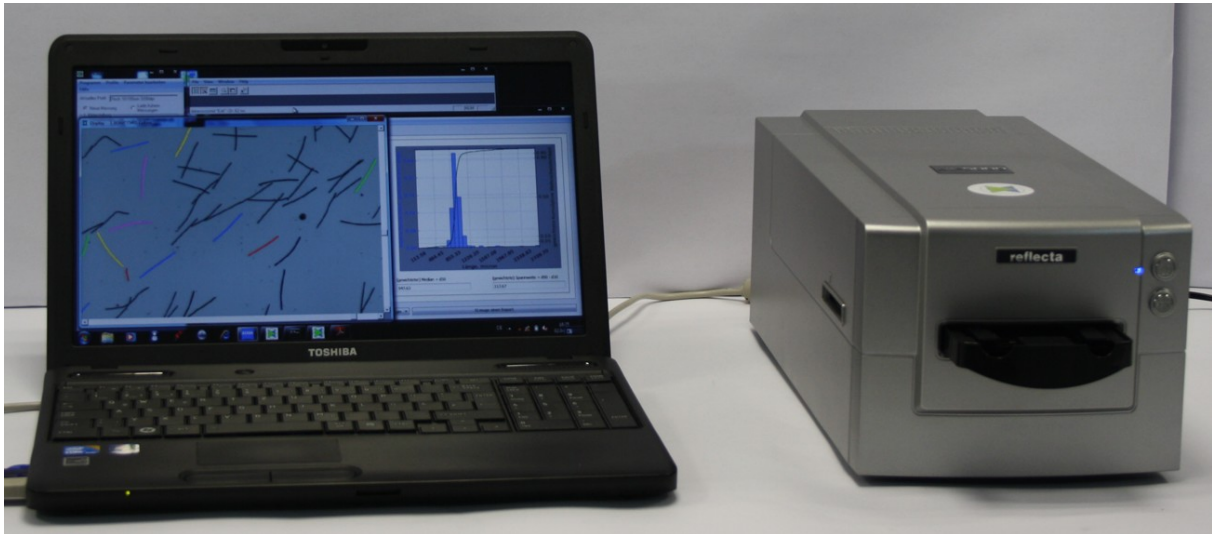


Abb. 2: FibreShape M

- FibreShape M zur Messung von Faserlängen von 0,06 - 150mm Länge



Abb. 3: FibreShape FH

3.3 FibreScanner

Der FibreScanner verkörpert einen neuen Ansatz hinsichtlich des Rastervorgangs: Statt wie herkömmlich den Sensor über die zu scannenden Fasern zu führen, wird hier das Scan-Gut über den Zeilensensor geführt. Im Falle von Naturfasern werden diese in ein Kammbett gelegt, an einem Ende von einer Greifvorrichtung erfasst und aus dem Kammbett gezogen. Der innovative inverse Ansatz für den Scanvorgang hat hierbei den Vorteil, dass während des Ziehens über den Sensor die Naturfasern gestreckt im Kammbett liegen. Dadurch kann ihre Faserlänge sehr valide bestimmt werden [5] [6]. In einem Funktionsmuster wurde die Tauglichkeit dieses neuen Messprinzips bereits nachgewiesen [5]. Derzeit befindet sich eine Pilotanlage in der Konstruktion. Der Messbereich der Faserlängen ist auf 1 – 40cm ausgelegt.

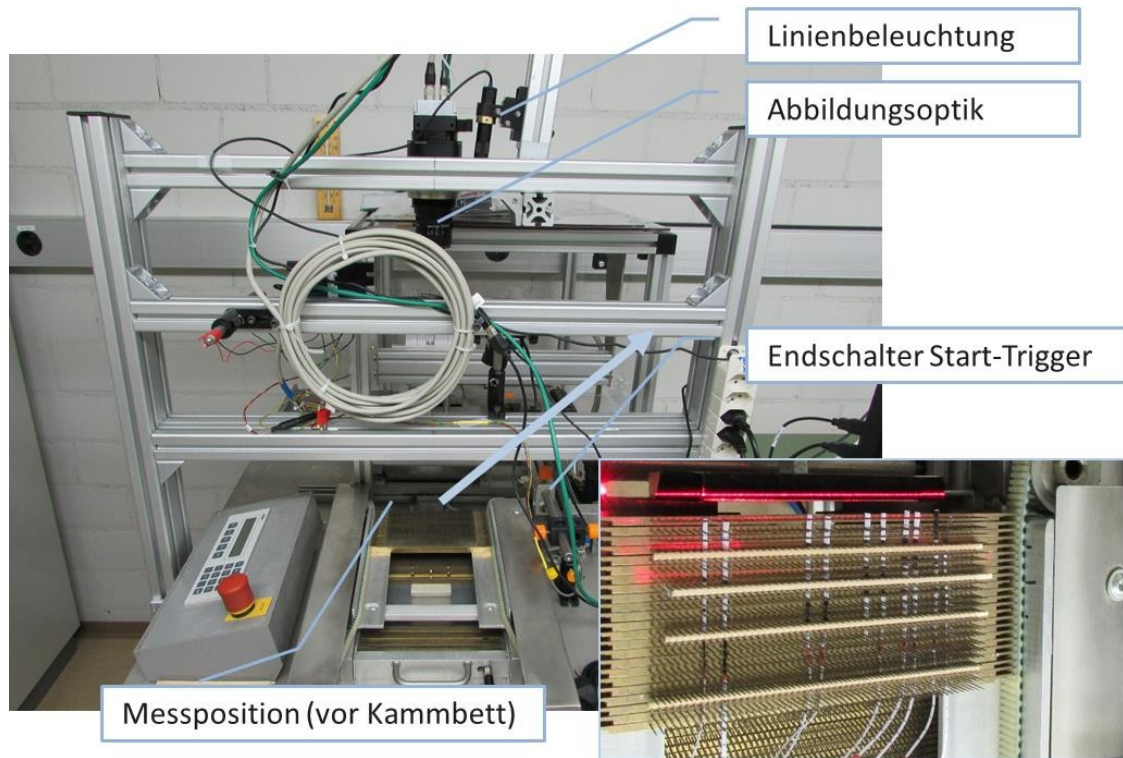


Abb. 4: FibreScan Funktionsmuster

4 Längenmessung anhand von rCF und Polyamidfasern

Das häufigste Bedürfnis bei der Fasercharakterisierung ist, deren Länge zu messen. Hinter diesem Bedürfnis steht die Vorstellung, dass man die Länge misst, indem man eine Faser streckt, auf ein Lineal legt und den Abstand zwischen den beiden Faserenden vermisst. Der Messparameter, der dieser Methode am nächsten kommt, wird maximaler Feret Durchmesser genannt. Häufig ist eine Faser aber gekrümmt und kann sich selbst überkreuzen. Solange diese Faser isoliert vorliegt, kann man sehr gut deren gestreckte Länge, in ISO 9276-6 geodätischen Länge genannt [9], mit dem Rechteckmodell vermessen. Wenn Fasern nicht ausreichend vereinzelt (dispergiert) werden, also in Netzwerken vorliegen, können Längen nur mit dem FiVer Algorithmus [10] bestimmt werden, welcher über Faserkreuzungspunkte hinweg der Verlauf einer Faser rekonstruiert und mit dem ebenfalls die gestreckte Länge gemessen wird, die der geodätischen Länge nach ISO 9276-1 entspricht. Dies ist jedoch nur für relativ gerade steife Fasern möglich, wie zum Beispiel Glas- und Kohlefasern. Je länger Fasern sind, desto schlechter können sie ausreichend vereinzelt werden. Je größer eine verfügbare Scanfläche ist, desto besser können die Fasern vereinzelt werden.

Im Folgenden werden die Anwendung der verschiedenen Algorithmen an zwei Beispielen gezeigt.

4.1 Rezyklierte Karbonfasern

Die Länge von Kohlefaserrovings wird bei Fischer et al. [8] bestimmt und mit der Festigkeit von kohlefaserverstärkten Kunststoffplatten korreliert.

Die Messvoraussetzungen sind:

- Messsystem: FibreShape FH
- Präparation: trocken
- Scannerauflösung 100dpi
- Messparameter: maximaler Feret-Durchmesser
- Messbereich: 1- 200mm

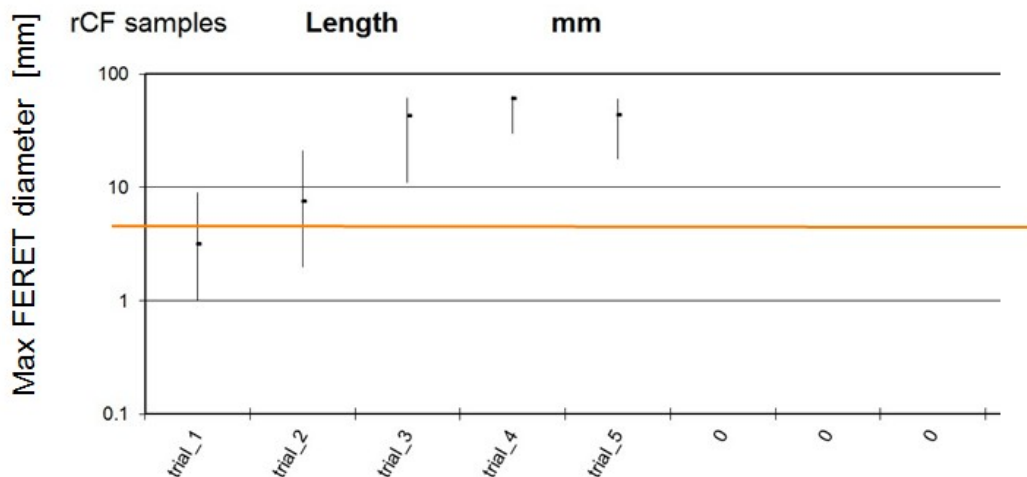


Abb. 5: maximaler FERET Durchmesser (vulgo Länge) verschiedener Proben. Darstellung: Whiskerdiagramm mit D50 „-“

Das Ergebnis dieser Studie ist, dass Faserbündel > 5mm Länge die Festigkeit von kohlefaserverstärkten Verbundwerkstoffen deutlich erhöht.

Die Längenverteilung von sich überkreuzenden rezyklierten Kohlenstofffasern wird heute von verschiedenen Kohlefaser Rezyklierern in Europa und Asien eingesetzt um die Konstanz der Produktion zu kontrollieren.

Die Messvoraussetzungen von sich überkreuzenden rCF sind:

- X-Shape System: FibreShape Cross M
- Präparation: nass
- Scannerauflösung 3200dpi.
- Messparameter: Geodätische Länge bestimmt mit dem FiVer-Algorithmus
- Messbereich 0.016 – 50mm

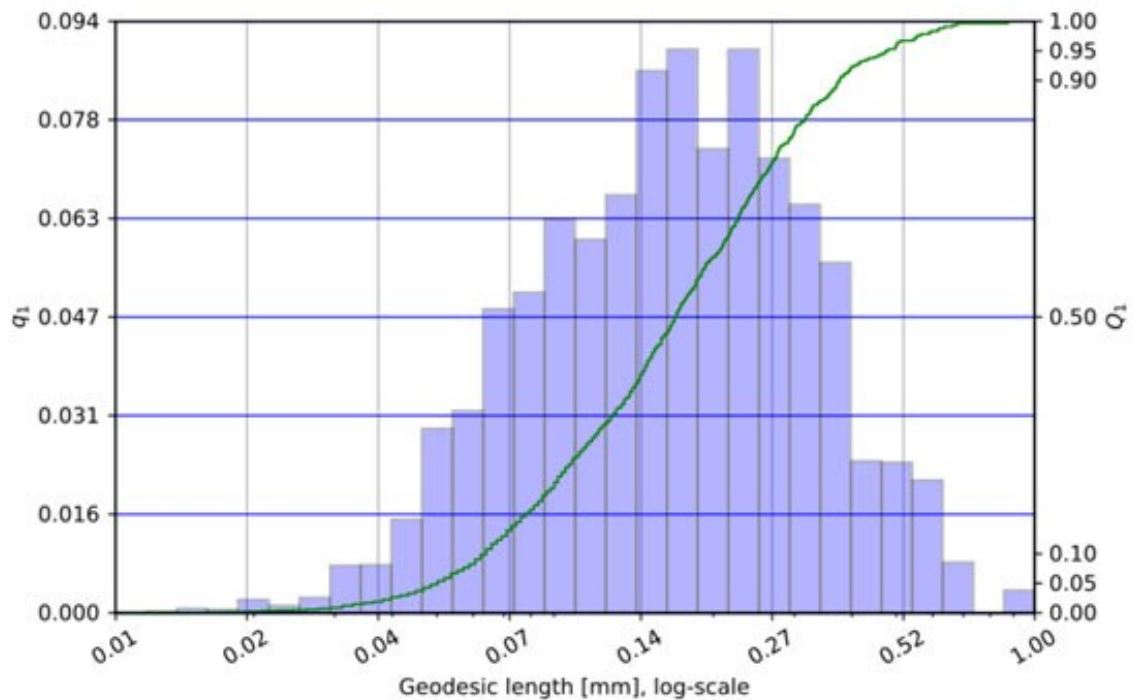


Abb. 6: geodätische Längenverteilung sich überkreuzender rCF Einzelfasern. Darstellung: längengewichtete Verteilungsdichte und Summenverteilung nach ISO-9276

Ein wesentliches Ziel ist, die Staubanteile zu erfassen, um sie soweit wie möglich zu reduzieren.

4.2 Polyamid Stapelfasern (Flockfasern)

Polyamid Stapelfasern bis zu 4mm Länge werden heute hauptsächlich zur Beschichtung von Oberflächen eingesetzt (s. 2.2) und als Flock bezeichnet [2,11]. Der Flock wird mittels eines elektrostatischen Verfahrens vertikal auf die Materialoberfläche aufgebracht.

Entscheidend ist hier eine sehr enge Längenverteilung um eine konstante Beschichtungshöhe zu gewährleisten. Es gibt aber auch Anwendungen von Polyamidstapelfasern ausserhalb der Beflockung mit anderen Längen und sehr enger Verteilung, die aber genauso wie die Flockfasern hergestellt werden können.

1mm Flockfasern wurden als Testfasern ausgewählt, um die Reproduzierbarkeit des FibreShapesystems in einem Rundtest [7] nachzuweisen (s. Abb. 7)

Die Messvoraussetzungen sind:

- Messsystem: FibreShape FH
- Präparation: trocken
- Scannerauflösung 1200dpi
- Messparameter: geodätische Länge
- Messbereich: 1-200mm Länge

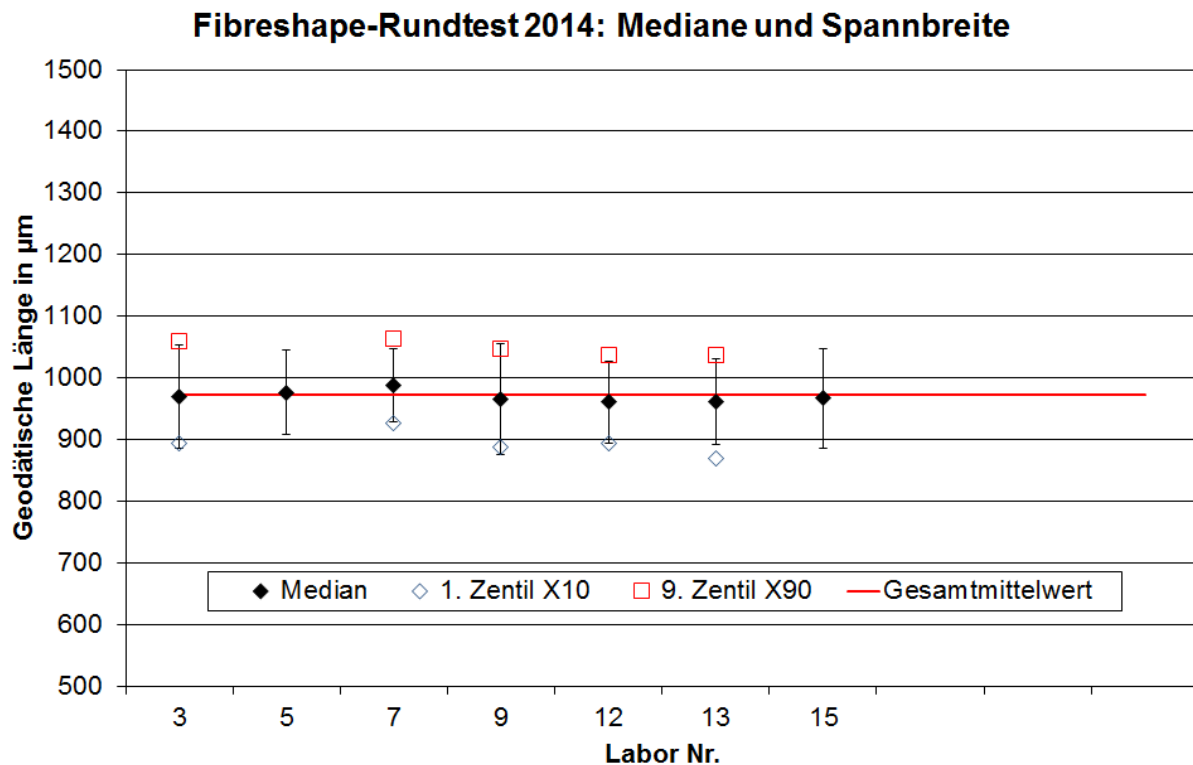


Abb. 7: Messergebnisse des Bremer Rundtests. Darstellung: Whiskerdiagramm

Das Ergebnis ist [7]: „Der Test ist eine gute und sichere Möglichkeit, um die Harmonisierung und Konsistenz der Ergebnisse verschiedener Labore sicherzustellen“.

Literatur

- [1] Schmid H.G., Image Analysis for Quality Control of Diamonds, Diamante Applicatione & Technologia, G&M Associated, Milano, no. 18, p. 112, (1999)
- [2] Schmid H.G., J.Müssig Charakterisierung von Polyamidfasern mittels quantitativer Bildanalyse, Melliand. Textilberichte, ISSN 0931-9735 vol.10, p.756 (2004)
- [3] Schmid,H.G., Niemz P., Ermittlung von Spanabmessungen mittels Scannertechnik, Holz-Zentralblatt Stuttgart 124 (1999) 788
- [4] Fischer, H.; Hofmann, M.; Miene, A.; Yuan, Q. & Heilos, K.: RecyCarb — Aufbau einer qualifizierten Wertschöpfungskette für rezyklierte Carbonfasern (rCF) zum Wiedereinsatz in anspruchsvollen Bauteilen. In Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (Hrsg. und Veranst.): Tagungsband 13. STFI-Kolloquium „recycling for textiles“, 6. und 7. Dezember 2017 im Hotel Chemnitzer Hof, Chemnitz. Sächsisches Textilforschungsinstitut, Chemnitz., (2017), 26 – 27.
- [5] Rinner,S., Kahl, M., Ziolek, C., Schmid,H.G., "Innovative system for auto-mated measurement of the distribution of the length of natural fibres", Proc. SPIE 11056, Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XI, 110561Z (21 June 2019)

- [6] Schmid, H.G., Fasermessverfahren und – vorrichtung, zur Veröffentlichung als Patent am 31.10.2019 durch das Eidgenössischen Institut für Geistiges Eigentum
- [7] Fischer, H., Haag, K., Müssig, J Standardisierung und Harmonisierung der Längenmessung von Flockfasern mittels scannerbasierte Bildanalyse. Melliand-Textilberichte (ISSN 0341-0781), 96. Jg. (2015), Nr. 4, S. 179 – 181
- [8] Fischer, H., Schmid H.G., Qualitätskontrolle rezyklierter Karbonfasern, Kunststoffe 11, pp. 88–91 (2013)
- [9] ISO 9276-6: 2012, Representation of results of particle size analysis — Part 6: The descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology
- [10] Popp M., FiVer Software zur Faserlängenmessung, SKZ Würzburg (2014)
- [11] Schmid, H.G., Dvorak, M., Müller, J., Müssig, J., Characterizing Flock Fibers Using Quantitative Image Analysis, FLOCK · volume 30 · No. 113 (2004)