

# Innovativer Ansatz zur Bestimmung der Faserlänge

## Automatisierte und reproduzierbare Methode zur Vermessung von Faserstoff entwickelt

Von Jan T. Benthien<sup>1,2</sup>, Sabrina Heldner<sup>1</sup>, Benjamin Seppke<sup>3</sup>, Christian Bähnisch<sup>3</sup>, Martin Ohlmeyer<sup>1</sup>, Hamburg

**Das Messgerät „Fibre Cube“ löst bisherige Probleme bei der Vermessung von TMP: Wollig-verfilzte Faserstoffe können automatisiert einzeln sowie im Moment der Bildakquise überkreuzt liegende Fasern softwarebasiert nachsepariert werden. Entwickelt wurde es gemeinsam vom Thünen-Institut für Holzforschung, der Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft und Arbeitsbereich Kognitive Systeme (Kogs) – zusammen mit der Firma Grecon aus Alfeld.**

Faserplatten sind sehr vielseitige Produkte und zählen weltweit zu den bedeutendsten Holzwerkstoffen. Das Anwendungsspektrum von Faserplatten reicht von Dämm-Materialien über MDF für die Möbelherstellung bis hin zu hochverdichteten HDF als Trägerplatte für Laminatfußböden. Ungeachtet der Bedeutung der Faserstoffqualität für den Produktionsprozess und die Platteneigenschaften wird in der Praxis vornehmlich eine haptische und visuelle Begutachtung des Faserstoffes durch erfahrene Mitarbeiter vorgenommen.

Dieses Verfahren ist im hohen Maße von der prüfenden Person abhängig sowie das Ergebnis nur begrenzt quantifizierbar. Auf dem Markt verfügbare Messinstrumente zur Bestimmung der Partikel- und Faserstoffzusammensetzung konnten sich für die Vermessung von thermo-mechanisch aufgeschlossenem Faserstoff (TMP) aus verschiedenen Gründen nicht etablieren:

Siebanalysen liefern für Faserstoffe in erster Linie eine Aussage zur Faserbreite- und weniger zur Faserlängenverteilung. Die Messzellen von bildanalysebasierten Geräten der Zellstoff- und Papierindustrie sind nicht auf das Größenspektrum von TMP ausgelegt und neigen daher zum Verstopfen. Für die Vermessung von Fasern die den Prozess trocken verlassen ist gleichwohl eine Technik zu bevorzugen, bei der die Vereinzelung und Bildaufnahme im trockenen Zustand erfolgt, da so Dimensionsänderungen aufgrund von Quellung vermieden werden. Andere Geräte erscheinen für die Charakterisierung von TMP zwar grundsätzlich aussichtsreich, stoßen jedoch bei der Vereinzelung wollig-verfilzter Faserstoffester an ihre Grenzen. Für die industrielle Anwendung sowie die Notwendigkeit der Vermessung einer großen Anzahl von Fasern zur Erzielung statistisch belastbarer Ergebnisse ist eine Automatisierung von Faservereinzelung, Bildaufnahme und Bildanalyse notwendig.

### Entwicklung neuer Messsysteme

Mit dem Ziel, Schwächen derzeit verfügbarer Messsysteme zu überwinden, begannen 2009 die Universität Hamburg (Hamburg, Deutschland), speziell das Zentrum Holzwirtschaft sowie der Arbeitsbereich Kognitive Systeme (Kogs), und das Unternehmen Fagus-Grecon Greten GmbH & Co. KG (Grecon) aus Alfeld (Niedersachsen), eine Software zur bildanalytischen Qualitätskontrolle von Holzfasern für die Herstellung von mitteldichten Faserplatten zu entwickeln. Ziel war die Entwicklung eines Algorithmus, der eine faserverlaufbasierte Längenvermessung und virtuelle Nachseparierung überkreuzt liegender Fasern bei gleichzeitig geringem Zeitbedarf ermöglicht. Im Rahmen eines Folgeprojektes wurde ab 2010 am Gemeinschaftsstandort des Zentrums Holzwirtschaft und des Thünen-Instituts für Holzforschung unter Beteiligung von Grecon hierauf aufbau-

end an der Konzipierung, Entwicklung und Erprobung eines Bildanalyse-Systems zur Erkennung von groben Faser-elementen während des Herstellungsprozesses von MDF gearbeitet. Ziel war die Konstruktion der Hardwarekomponente, die in Kombination mit der zuvor entwickelten Software ein Gerät zur Vermessung von Faserstoffen ergibt. Hierbei wurde besonderes Augenmerk auf einen hohen Automatisierungsgrad, eine einfache Probenhandhabung, eine umfassende Faservereinzelung sowie die Vermessung einer großen Anzahl von Fasern gelegt.

Ergebnis der Forschungsvorhaben waren zwei bildanalysebasierte Fasermesssysteme, von denen eins zur Erkennung von Shives (Faserbündel) an der Fasermatten-Oberfläche im Produktionsprozess („Fiber View“) und das andere zur Charakterisierung des gesamten Faserspektrums („Fibre Cube“) ausgelegt ist. Das „Fiber View“-System wurde inzwischen von Grecon realisiert und bereits in drei europäischen MDF-Werken installiert. Der Prototyp des „Fibre Cubes“ wurde im Rahmen eines dritten Forschungsvorhabens finalisiert (Anpassungen an Hard- und Software, Datenauswertung) und für die Dauer von 100 Tagen testweise in der Produktion eines niedersächsischen MDF-Herstellers eingesetzt. Aktuell kommt der „Fibre Cube“ bei einem österreichischen Holzwerkstoffhersteller an einem deutschen Produktionsstandort für die Prozessoptimierung zum Einsatz. Hier ist die Vermessung des gesamten Faserstoffspektrums von Interesse, da die Faserstoffherzeugung über zwei Refinerlinien realisiert wird, von denen eine Linie Hackschnitzel und die andere Linie Späne eines benachbarten Sägewerkes verarbeitet. Für eine gezielte Prozesssteuerung und -optimierung auf Basis der erzeugten Faserstoffqualität muss entsprechend sowohl direkt nach der Zerfaserung, als auch der Faserkuchen auf dem Formband vermessen werden.

Bei der Prozessoptimierung steht häufig die Steuerung des Mahlscheibenabstandes im Fokus, da insbesondere der Zerfaserungsprozess sehr energieaufwendig und damit kostenintensiv ist. Rund 40 % des Gesamtstromverbrauchs eines MDF-Werkes entfallen auf den Betrieb des Refiners. Neben anderen Einflussgrößen bestimmt vor allem die Mahlscheibenbreite den Grad der Zerfaserung des eingesetzten Holzes und folglich die Faserstoffqualität. Während für die Herstellung von HDF die Verwendung von groben Faserstoffen möglich ist, erfordert die Herstellung von MDF in Tiefräsqualität einen sehr feinen Faserstoff. Für die Prozessoptimierung mit dem Ziel einer Energie- und Kostenreduzierung über das bisher mögliche Maß hinaus ist wichtig, die Faserstoffqualität zuverlässig quantifizieren zu können. So könnte beispielsweise die Herstellung von groben Fasern eng am oberen Limit fahren bzw. Minimalanforderungen bei der Herstellung von Tiefräsqualitäten einhalten.

### Funktionsweise

Das Messgerät arbeitet auf Basis trocken-gestreuter Fasern, die nach der pneumatischen Vereinzelung mithilfe einer hochauflösenden Kamera optisch erfasst werden. Im Anschluss an die Bildakquise analysiert ein Software-Algorithmus das erzeugte Graustufenbild und vermisst die detektierten Fasern. In einem weiteren Schritt werden die erzeugten Messdaten verarbeitet, d.h. geeignete Kennzahlen und Grafiken erstellt, anhand derer der untersuchte Faserstoff charakterisiert werden kann.

Der technische Aufbau des entwickelten Fasermessgerätes ist in der Abbildung schematisch dargestellt und lässt sich in drei funktionelle Bereiche unterteilen: (I) die Faservereinzelung, (II) die Bildakquise und (III) die Reinigungseinheit. Die Faservereinzelungseinheit wird mit einer normalerweise agglomeriert und in Knäueln vorliegenden Faserprobe (ca. 0,5 g) über die der

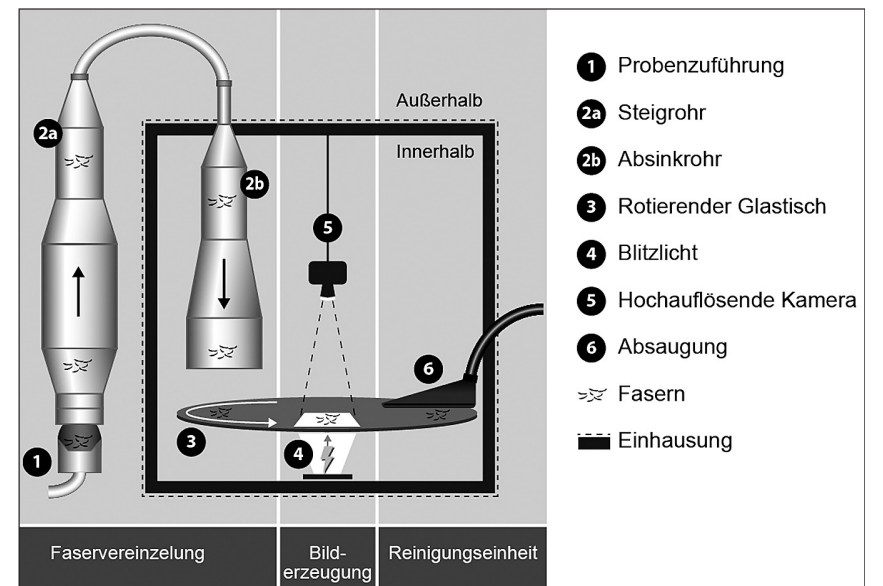
Probenzufuhrvorrichtung (1) beschickt. Die Vereinzelung sowie der Transport der vereinzelt Fasern im Steigrohr (2a) erfolgt über eine geschickte Kombination von Druckluft und Ultraschall. Mit Erreichen des Absinkrohrs (2b) reduziert sich die Strömungsgeschwindigkeit und die vereinzelt Fasern werden auf einem rotierenden Glattisch (3) abgelegt. Über die Drehbewegung des Glattisches werden die Fasern kontinuierlich der Bilderzeugungseinheit zugeführt, die aus einem Blitzlicht (4) und einer hochauflösenden Kamera (5) besteht. Die Bildakquise erfolgt im Durchlichtverfahren mit einer Frequenz von etwa 70 Hz. In der Regel werden unter Laborbedingungen je Faserstoff-Charakterisierung drei Wiederholungsmessungen durchgeführt, sodass insgesamt etwa 1,5 g Faserstoff vermessen wird. In der Reinigungseinheit werden die Fasern über eine Absaugung (6) von der Glasscheibe entfernt.

Die von der Kamera emittierten Bilder werden von einer Grabber-Software gesammelt und gespeichert. Nach, bzw. parallel zur Bildsammlung erfolgt die Bildanalyse und Faservermessung. Hierbei liegen der Faservermessung zwei Vermessungsprinzipien zugrunde, die sequenziell gestaffelt zur Anwendung kommen: Primär wird die Faserlängen- und Faserbreitenvermessung über die sogenannte Faserfolgungsmethode realisiert. Kann diese Methode für das detektierte Objekt nicht angewendet werden, so werden die Faserabmessungen mit der Momente-Methode bestimmt. Die Faservermessung erfolgt sub-pixelgenau, d.h. losgelöst vom Pixelgitter. Im Fall der Faserfolgungsmethode wird dies durch die Umstellung von der pixelbasierten auf die kontinuierliche Darstellung des Graustufenbildes erreicht. Bei Anwendung der Momente-Methode sind die Ergebnisse ebenfalls subpixel-genau, da bei der Berechnung (Bild-)Momente bestimmt und gewichtete Mittelwerte aus den Graustufen der einzelnen Pixel des Objektes gebildet werden.

Für die Charakterisierung von Faserstoffen auf Basis der Eigenschaften individueller Fasern im Allgemeinen sowie für die automatisierte bildanalysebasierte Faservermessung im Besonderen ist Voraussetzung, dass die zu vermessenden Objekte als Einzelfasern vorliegen bzw. als solche erkannt werden können. Zwar wird diese Voraussetzung vom „Fibre Cube“ weitestgehend erreicht, dennoch kann es zu überlappend abgelegten Fasern kommen. Mit dem Ziel, derartige Objekte nicht von der Vermessung auszuschließen oder fehlerhafte Messergebnisse hinnehmen zu müssen, kommt im Rahmen der Faserfolgungsmethode eine softwarebasierte Nachseparierung von eng-parallel und überkreuzt liegenden Einzelfasern zum Einsatz.

Ein jedes detektierte Objekt stellt entweder eine einzelne MDF-Faser oder ein Konglomerat aus mehreren nicht vereinzelt Fasern dar, die vor der Vermessung über einen Nachbearbeitungsschritt (Software-Algorithmus) voneinander separiert werden müssen. Für diese Separierung wird an einem jeden Endpunkt einer Verfolgungslinie damit begonnen, die Skelettlinie bis zu einem Knotenpunkt zu verfolgen. Die Verfolgung einer Skelettlinie über den Knotenpunkt hinaus erfolgt auf dem Weg, der so gerade wie möglich ist. Entsprechend der Charakteristika eines Knotenpunktes (Anzahl der Seitenarme sowie Winkel zwischen Seitenarm und durchgehender Skelettlinie) wird entschieden, ob es sich um eine Verzweigung der vornehmlich verfolgten Faser handelt oder eine überkreuzt liegende weitere Faser vorliegt, die zu separieren ist.

Für das Verständnis des Messprinzips „Faserverfolgung“ (engl.: flowline tracing) ist es hilfreich, sich die erfassten Bilder der gestreuten Fasern als Reliefkarte vorzustellen, wobei hier die dunklen Bildpunkte die Erhebungen in einer Berglandschaft und die hellen Punkte die flache Umgebung darstellen. Fasern



Schemazeichnung des entwickelten Fasermessgerätes Grafik: Thünen-Institut

können somit als Berge in einer ansonsten flachen Landschaft verstanden werden. Mit dieser Modellvorstellung kann der Prozess der Faservermessung und softwarebasierten Separierung als Wanderung auf einem Bergrücken – von Gipfel zu Gipfel – verstanden werden. Das Ergebnis dieses Prozesses ist ein Netzwerk von Wegstrecken, wobei in jeder die Skelettlinie einer Faser repräsentiert. Auf Basis dieser Skelettlinie werden die Fasereigenschaften bestimmt (z. B. Länge, Breite, Helligkeitsintensität) sowie überlappend liegende Fasern voneinander separiert. Die Faserbreitenvermessung erfolgt an bestimmten charakteristischen Punkten der Skelettlinie, sodass in der Ergebnisdatei ein Breiten-Mittelwert mit Standardabweichung angegeben wird. Gleiches gilt für die Bestimmung der Helligkeitsintensität. Im Fall sehr kleiner Objekte kann die Faserfolgungsmethode gelegentlich nicht angewendet werden, da bestimmte erforderliche Kenngrößen (Sattelpunkte und Extrema) nicht gefunden werden können. In diesem Fall wird über die Berechnung der (Bild-)Momente (engl.: image moments) eine Ellipse an das detektierte Objekt angepasst und über deren Eigenschaften (Länge der größten und kleinsten Achse) die Faserlänge und die Faserbreite bestimmt.

Als Ergebnis der Faservermessung liefert die Segmenter-Software für ein jedes analysierte Bild eine CSV-Datei, in der Messgrößen wie Länge, Breite und Helligkeitsintensität tabellarisch aufgeführt sind. Für die Auswertung wurde in der Programmiersprache Matlab ein „Skript“ programmiert, das die gesamte Datenhandhabung, ausgehend vom Segmenter-Output bis hin zur Ausgabe eines Fasersteckbriefes (Ergebnisprotokoll), abdeckt. Das sogenannte Fiber Fact Sheet setzt sich aus verschiedenen Kennwerten und der grafischen Darstellung der doppelt-längengewichteten relativen Häufigkeitsverteilung in Form eines geglätteten Häufigkeitspolygon sowie eines Box-Whisker-Plots auf Basis der doppelt-längengewichteten relativen Summenhäufigkeitsverteilung zusammen.

### Ergebnisse

Basierend auf den Ergebnissen von Labor- und Industrieversuchen konnten verschiedene Zusammenhänge von Prozessparametern und Faserstoffqualität bestätigt sowie anhand von Messwerten erstmals quantifiziert werden.

Im Rahmen von Laborversuchen wurden der Mahlscheibenabstand (MSA), die eingesetzte Holzart sowie die Kochbedingungen als die wesentlichen Einflussgrößen auf die Faserstoffqualität gefunden. Für die Kochbedingungen wurde gezeigt, dass mit zunehmender intensiveren Aufschlussbedingungen der Umfang der Zerfaserung der Holzsubstanz zunimmt. Der Einsatz verschiedener Holzarten (Kiefer, Buche, Birke, Pappel) führt zu messbaren Veränderungen der Faserstoffqualität sowie der Eigenschaften von Prüfplat-

ten. Der MSA wurde als eine wesentliche Einflussgröße auf die Faserstoffqualität gefunden: mit zunehmendem MSA nimmt die mittlere Faserlänge sowie der Grobanteil zu, während die Faseranzahl je mg Faserstoff abnimmt. Am Beispiel der beabsichtigten Herstellung gleicher Faserstoffe zu unterschiedlichen Zeitpunkten wurde deutlich, dass selbst unter Laborbedingungen die Wahl gleicher Zerfaserungsparameter nicht zwangsläufig zu identischen Faserstoffen führt. Für die Reproduzierbarkeit gleicher Faserstoffqualitäten könnte im Umkehrschluss ein Messgerät Abhilfe schaffen.

Auf Basis erster Industrieversuche konnten Zusammenhänge zwischen dem MSA und der Faserstoffqualität aufgezeigt werden. Beispielsweise konnte im Rahmen einer zeitlich enggestaffelten Veränderung des MSA während einer Produktumstellung deutlich die Veränderung der Faserstoffqualität nachvollzogen werden. Weiter konnte anhand der mittleren Faserlänge exemplarisch demonstriert werden, dass die vom Messgerät bestimmten Kenngrößen im Einklang mit den bekannten Kenngrößen wie Schüttdichte und Energiebedarf stehen. Dies spiegelt klar das Potenzial des Messgerätes wider und lässt eine weiterführende Praxiserprobung aussichtsreich erscheinen. Entgegen der anfänglich vermuteten Bedeutung der Faserstoffqualität als Indikator für die resultierenden Faserplatteneigenschaften, scheint die Bestimmung der Faserstoffzusammensetzung in der Praxis insbesondere für das Prozessverständnis und der Prozessoptimierung von Interesse zu sein.

### Fazit und Ausblick

Das Messgerät „Fibre Cube“ löst bisherige Probleme bei der Vermessung von TMP: Wollig-verfilzte Faserstoffe können automatisiert einzeln sowie im Moment der Bildakquise überkreuzt liegende Fasern softwarebasiert nachsepariert werden. Mit dem weitestgehend automatisierten Messablauf sowie der Vermessung einer großen Anzahl an Fasern werden Anforderungen der industriellen Praxis erfüllt. Über die generierten Kennwerte lässt sich die Qualität von Faserstoffen numerisch quantifizieren und so folgende Vorhaben in der Faserplattenindustrie angehen:

- ◆ betriebsinterne Spezifizierung, Überprüfung und Absicherung der Faserqualität,
- ◆ betriebsdauer-unabhängige Terminierung von Wartungsintervallen (z. B. Austausch von Refinerscheiben auf Basis der veränderten Faserstoffqualität),
- ◆ objektive Beobachtung und Beurteilung der resultierenden Faserqualität bei Maßnahmen zur Prozessoptimierung sowie
- ◆ Überprüfung vereinbarter Leistungsdaten von Zerfaserungsmaschinen im Bezug auf deren Produktionsergebnis (für die Wirtschaftsbeziehung von Refinerherstellern, Pressenherstellern und Plattenproduzenten von besonderem Interesse).

<sup>1</sup> Thünen-Institut für Holzforschung, 21031 Hamburg

<sup>2</sup> Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, 21031 Hamburg

<sup>3</sup> Universität Hamburg, Arbeitsbereich Kognitive Systeme (Kogs), 22527 Hamburg