

Effektive Bewertung von Trennprozessen in der Stoffaufbereitung durch moderne fasermorphologische Messverfahren

T. Kuntzsch

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Abstract	2
3	Ausgangssituation und Zielstellung	3
4	Durchführung der Untersuchungen	6
5	Ergebnisse	8
5.1	Entwicklung einer Methodik zur Ableitung von McNett-Fractionen aus mittels optischen Fasermessgeräten gemessenen Fasereigenschaftsverteilungen	8
5.1.1	Messprinzip und Messergebnisse des optischen Fasermessgerätes FiberLab	8
5.1.2	Umrechnung der Mengenanteile unter Berücksichtigung von Faserdurchmesser und -wandstärke	9
5.1.3	Bilanzierung der McNett-Fraktionierung	12
5.1.4	Beschreibung der McNett-Fraktionierung mit Hilfe der Trennfunktion	13
5.1.5	Korrekturvorschrift zur Erfassung des mit optischen Fasermessgeräten nicht berücksichtigten Feinstoffanteils	14
5.1.6	Simulation von McNett-Fractionen und Validierung der Methodik	15
5.2	Anwendung der Methoden zur Charakterisierung von Sortiersuchen	17
5.3	Übertragbarkeit der Methodik auf andere optische Fasermessgeräte	21
6	Symbolverzeichnis	23
7	Literaturverzeichnis	24

1 Zusammenfassung

Zielstellung

Das Projekt stellte sich das Ziel, eine Methodik bereitzustellen, um aus den Fasereinzelmesswerten moderner optischer Fasermessgeräte solche Kennwerte abzuleiten, welche die natürliche Zusammensetzung der Faserstoffe charakterisieren und geeignet sind, die Wirksamkeit von Trennprozessen in der Stoffaufbereitung zuverlässiger zu bewerten, als es mit herkömmlichen Methoden, wie z.B. der McNett-Fraktionierung, möglich ist.

Damit sollen künftig aufwändige McNett- oder andere Siebfraktionierungen bei der Bewertung der Effektivität von Stoffaufbereitungsprozessen oder deren Auswirkung auf fasermorphologische Eigenschaften überflüssig gemacht bzw. auf ein Minimum reduziert werden.

Weiterhin sollte die zu erarbeitende Methodik in Form eines eigenständigen, mit einer klar definierten Schnittstelle versehenen Datenverarbeitungsbausteins für verschiedene optische Fasermessgeräte einsetzbar sein. Dabei war sicherzustellen, dass die Online-Fähigkeit der Geräte durch den erforderlichen zusätzlichen Rechenaufwand nicht beeinträchtigt wird.

Ergebnisse

Als Ergebnis des Forschungsprojektes wurde ein Werkzeug zur Bewertung von Trennprozessen auf der Basis morphologischer Faserqualitätsparameter bereitgestellt. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, den Informationsgehalt von Fasereigenschaftsmessungen zu verdichten und transparent zu machen. Dabei erfolgt eine Berechnung von McNett-Fraktionen anhand der Ergebnisse optischer Fasermessgeräte. Die Methodik ist für Zell- und Altpapierstoffe anwendbar und gestattet insbesondere:

- die Berechnung von Masseverhältnissen zwischen Faserfraktionen aus den zunächst vorliegenden Anzahlverteilungen,
- die Abschätzung des tatsächlichen, mit dem Fasermessgerät nicht vollständig messbaren Feinstoffanteils in der Faserstoffsuspension und
- die Simulation von McNett-Fraktionen anhand gemessener Verteilungen von Faserlänge, Faserdurchmesser und Faserwandstärke.

Damit wird ein effizientes Werkzeug für eine effektive und praktisch relevante Bewertung von technischen Trennprozessen bereitgestellt, um deren Ablauf zu verfolgen und deren Ergebnis quantitativ einzuschätzen. Als vorteilhaft erweist sich dabei die gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei vermindertem Versuchsaufwand und die Online-Fähigkeit der Methodik.

Danksagung

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. IW 050280 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen und externen Industrieforschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm GmbH gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

2 Abstract

Project objective The objective of the project was to develop a method that makes it possible to derive fibre classes based on the result of modern optical fibre analysis instruments. Using these fibre classes it should be possible to characterise the natural composition of pulp components and to assess the effect of separation and fractionation processes at least as reliable as laboratory fractionation methods using McNett fractionators or similar devices.

By applying the new method time consuming laboratory fractionation for stock preparation process evaluation can be made redundant or reduced to a minimum in future.

Furthermore it should be possible to operate the developed method as an independent component on different types of optical fibre analysis devices. It has to be ensured that the online capability of the measuring devices is not interfered by the additional computational effort.

Results As a result of the research project a tool for separation process evaluation based on morphological fibre properties was made available. Using the developed procedure the information content of fibre property measurements can be condensed and made transparent. The method can be applied to chemical pulp as well as to pulp samples from recovered paper. The following steps are involved:

- The conversion of measured number weighted distributions of fibre characteristics into volume or mass weighted distributions in order to evaluate the mass shares within the individual fibre classes,
- The estimation of the individual shares of fibres or particles smaller than the lower detection limit of the optical fibre analyser
- Simulation of McNett-fractions based on the specially prepared distributions of fibre properties as fibre length, width and wall thickness.

Therewith a very effective tool to assess products from separation processes and to quantify the influencing parameters could be provided. Further advantages from the developed procedure result from the high reproducibility of calculation results and the availability of the method for online applications.

Acknowledgement The results presented in this report were obtained within the scope of research project No. IW 050280 funded by the Federal Ministry of Economics and Technology – under the umbrella of EuroNorm – in the programme for the "Promotion of Research, Development and Innovation in Small and Medium-sized Enterprises and External Industrial Research Institutions in the New German Countries". We would like to express our gratitude for this funding and support.

3 Ausgangssituation und Zielstellung

Notwendigkeit einer effizienten Faseranalyse

Bei der Papierherstellung werden im Rahmen der Stoffaufbereitung gezielt Maßnahmen durchgeführt, die eine möglichst optimale Ausnutzung des eingesetzten Faserstoffes und insbesondere dessen Langfaserfraktion ermöglichen [1-4]. Hierzu zählen sowohl Fraktionier- und Sortier- sowie Waschprozesse als auch die Mahlung von Faserstoffen. Eine permanente bzw. regelmäßige Bewertung und Optimierung dieser Maßnahmen ist ein Gebot ökonomischen Wirtschaftens sowie der Sicherung einer konstanten Produktqualität.

Als Trennkriterium bei mechanischen Trennprozessen dienen im Wesentlichen die morphologischen Fasereigenschaften. Je nach Wirksamkeit des Trennprozesses unterscheiden sich die Verteilungen dieser Fasereigenschaften wie z.B. Faserlänge, Faserdurchmesser etc. von Aufgabematerial und Trennprodukten. Durch eine geeignete Auswertung der Fasereigenschaftsverteilungen lassen sich Rückschlüsse auf die Effektivität der Trennprozesse ziehen.

Gegenwärtiger Stand der Laborfraktionierung

Die Laborfraktionierung in so genannten McNett- oder ähnlichen Apparaten ist eine weit verbreitete Methode, um die fasermorphologische Zusammensetzung eines Faserstoffes zu charakterisieren und anhand deren Veränderungen die Wirksamkeit von Trennprozessen einzuschätzen. Bei dieser Methode wird der Faserstoff durch eine Kaskade von Sieben mit abnehmenden Maschenweiten geleitet. Durch Trocknen und Auswiegen der Siebrückstände erhält man die massengewichteten Anteile der Siebfraktionen. Den Masseanteil des Siebdurchganges des feinsten Siebes bestimmt man durch Berechnung der Differenz zwischen der aufgegebenen Fasermasse und der Summe der Siebrückstände.

Die Siebfraktionierung besitzt jedoch entscheidende Nachteile: So sind Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Fraktionierungsversuche extrem zeitaufwändig, eine Online-Anbindung ist ausgeschlossen und die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ist nicht immer befriedigend. Trotz weitgehender Standardisierung der Apparaturen ist ein großer Einfluss der konkreten Messbedingungen (z.B. Entwässerungsverhalten des Faserstoffs, Typ der Apparatur, Durchführender der Messung) festzustellen [5, 6, 7]. Die Gerätetechnik lässt nur den Einsatz einer begrenzten Anzahl von Sieben zu, wobei nicht garantiert werden kann, dass die Siebauswahl auch tatsächlich auf zu beobachtende Prozesseffekte optimal abgestimmt ist.

Vorteile optischer Fasermessgeräte

Alternativ stehen gegenwärtig moderne optische Fasermessgeräte, wie z.B. FiberMaster, FiberLab, Morfi oder FiberExpert [8, 9, 10], zur Verfügung, die in einer Faserstoffsuspension Einzelfasern in repräsentativen Größenordnungen (5.000 Fasern und mehr) erfassen und die Ergebnisse in Form von Häufigkeitsverteilungen wiedergeben. Durch Nutzung moderner Sensortechniken und neuer Methoden der Bildverarbeitung sind die Geräte in der Lage, neben der Faserlänge weitere Faserkennwerte, wie z.B. Faserdurchmesser und Faserwandstärke, zu bestimmen.

Als vorteilhaft gegenüber der Siebfraktionierung erweist sich die hohe Messgeschwindigkeit, die eine rasche Auswertung der Ergebnisse ermöglicht. Eine Online-Anbindung der Geräte wird in vielen Fällen angeboten oder ist bereits in der industriellen Praxis vorhanden. Die Auflösung (d.h. die Klassenbreite) der Verteilungen wird im Wesentlichen nur durch die Messgenauigkeit (zurzeit ca. 10^{-2} mm für Faserlänge und 10^{-3} mm für Faserdurchmesser) beschränkt.

Fragestellungen bei einem verstärkten Einsatz optischer Fasermessgeräte

Die Vorgehensweise, um aus Verteilungen der optischen Fasermessgeräte solche Daten zu generieren, die mit denen der McNett-Fraktionierung konsistent sind, war bislang wenig überzeugend. So wird trotz des Potenzials dieser Messgeräte gerade bei der Bewertung von Trennprozessen in der Praxis häufig auf die aufwändige Siebfraktionierung zurückgegriffen.

Die Reduktion einer Faserverteilung auf die Masseanteile weniger Faserfraktionen (meistens 4 Siebrückstände plus Durchlauf) kommt dem verständlichen Wunsch entgegen, komplexe Stoffsysteme durch möglichst wenige Parameter beschreiben zu können.

Zur Bewertung eines Trennprozesses werden i. d. R. Masseanteile herangezogen, die bei der McNett-Fraktionierung durch Auswiegen der Siebrückstände erhalten werden. Optische Messverfahren erfassen demgegenüber zunächst Anzahlverteilungen, die keine direkten Rückschlüsse auf Masseanteile in den einzelnen Fraktionen zulassen.

Bedingt durch die begrenzte Auflösung der optischen Sensoren kann der Feinstoff nur unvollständig detektiert werden. Bei der Siebfraktionierung hingegen wird auch der Durchgang durch das letzte Sieb berücksichtigt.

Effektive Bewertung von Trennprozessen

Die grundsätzliche Eignung der Siebfraktionierung nach McNett zur Bewertung der Effektivität von Trennprozessen steht außer Frage. So kann z.B. die Aufspaltung des Faserstoffes in kurz- und langfasrige Anteile durch Fraktionierung von Holzstoffen [11] bzw. von rezyklierten Faserstoffen [12] zweckmäßig bewertet werden. Andere Trennprozesse wie z.B. Sortier- oder Reinigungsprozesse sind mittels der McNett-Technik weniger genau erfassbar, da die jeweiligen Siebfraktionen zu unspezifisch auf die jeweiligen Prozessstufen reagieren [13].

Generell muss berücksichtigt werden, dass neben der Faserlänge auch weitere Fasermerkmale, wie Faserdurchmesser, -wandstärke oder Faserkrümmung, das Trennverhalten maßgeblich beeinflussen können. So unterscheiden sich z.B. die in [14] gezeigten Verteilungen der Faserdurchmesser eines TMP-Faserstoffes in Durch- und Überlauf nach einer Fraktionierung mittels Hydrozyklon infolge des angewandten Sortierprinzips deutlich. Solche Zusammenhänge sind allerdings in

der verfügbaren Literatur bislang kaum dokumentiert.

An der PTS wurde in jüngster Zeit eine Methodik zur Zerlegung der gemessenen Faserlängenverteilungen in einzelne logarithmische Normalverteilungen entwickelt. Dabei konnte anhand einer Vielzahl ausgewerteter Faserlängenverteilungen nachgewiesen werden, dass diese sich als Überlagerung von 3 (z.B. für Nadelholzzellstoffe) bzw. 4 (z.B. für Laubholzzellstoffe und Altpapierstoffe) einzelnen Lognormalverteilungen ergeben, die jeweils morphologisch definierten Faserstoffkomponenten zugeordnet werden können [15]. Mit einer solchen Methodik können die in der Faserlängenverteilung enthaltenen Informationen wesentlich effektiver für die Beurteilung von Trennprozessen genutzt werden, wobei auch weitere Faserparameter wie die Verteilungen der Faserdurchmesser und -wandstärken in die Bewertung einbezogen werden können.

Auch aktuelle Veröffentlichungen anderer Forschungsgruppen belegen die Bedeutung geeigneter Methoden zur Klassifizierung der mit optischen Fasermessgeräten gemessenen Verteilungen [16]. Nicht zuletzt besteht auch in papierfremden Branchen ein Bedarf an geeigneten Methoden zur schnellen und praxisrelevanten Charakterisierung faserförmiger Partikel [17].

Zielstellung

Das Projekt stellte sich das Ziel, eine durch numerische Algorithmen untersetzte Methodik bereitzustellen, um aus den Verteilungen von Fasereinzelmesswerten, wie sie von modernen optischer Fasermessgeräten geliefert werden, solche Daten abzuleiten, die künftig McNett- oder andere Siebfractionierungen zur Faserstoffprüfung überflüssig machen oder zumindest auf ein Minimum reduzieren. Insbesondere soll die Methodik helfen:

- Masseverhältnisse zwischen Faserfraktionen zu berechnen,
- den tatsächlichen Feinstoffanteil in der Faserstoffsuspension abzuschätzen,
- McNett-Fractionen anhand gemessener Verteilungen von Faserlänge, Faserdurchmesser und Faserwandstärke zu simulieren
- die Wirkung von Trennprozessen zu beobachten und quantitativ einzuschätzen.

Die zu erarbeitende Methodik soll in Form eines eigenständigen, mit einer klar definierten Schnittstelle versehenen Datenverarbeitungsbausteins für möglichst alle optischen Fasermessgeräte einsetzbar sein, wobei sicher zu stellen war, dass deren Online-Fähigkeit durch den erforderlichen zusätzlichen Rechenaufwand nicht beeinträchtigt wird.

4 Durchführung der Untersuchungen

Bereitstellung von McNett-Fraktionen

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Siebkenngößen und den Fasereigenschaftsverteilungen in den einzelnen McNett-Fraktionen wurden verschiedene papiertechnologisch relevante Faserstoffe mit der McNett-Apparatur (SCAN-M 9:69) fraktioniert:

- Kurzfasierzellstoff (Eukalyptus, Birke; ungemahlen / gemahlen)
- Langfasierzellstoff (Kiefer/Fichte; ungemahlen/gemahlen)
- Altpapierstoffe mit Unterschieden in Feinstoffanteil und Zusammensetzung (Modellaltpapier 1.02, trocken aufbereiteter Trie-Inking-Stoff, Kraftliner)

Die McNett-Fraktionierungen wurden jeweils mit 2 Siebkaskaden durchgeführt und dabei die Fraktionen R16, R30, R50, R100 und R200 aufgefangen. Die einzelnen Fraktionen wurden mit dem Fasermessgerät FiberLab 3.0 vermessen. Die Erfassung des Siebdurchganges des feinsten Siebes schien aufgrund der großen Probenmenge (ca. 200 l) und der darin enthaltenen geringen Faser- bzw. Feststoffmenge unzureichend. Feinstofffraktionen wurden stattdessen mit Hilfe einer Britt-Zelle (Siebbodenöffnungen \varnothing 75 μ m) gewonnen (zur Durchführung der Messungen siehe z.B. TAPPI T 261 cm-00). Der hierdurch erfasste Feinstoffanteil entspricht in etwa der Fraktion D200 aus dem McNett-Fraktionator [18].

Bestimmung von massebezogenen Fraktionsanteilen

Neben der Faserlänge werden vom FiberLab 3.0 auch Kenngrößen zur Charakterisierung des Faserquerschnitts (d.h. Faserdurchmesser und Faserwandstärke) erfasst. Unter der Grundannahme, dass die Materialdichte in der Faserwand überall konstant ist, kann daraus auf Masseverhältnisse der einzelnen Faserfraktionen geschlossen werden. Weiterhin ist eine Überprüfung der Literaturaussagen [6] zur Abhängigkeit der Coarseness von der (mittleren) Faserlänge möglich.

Bestimmung des Feinstoffanteils <200 μ m

Messgeräte zur Faseranalyse mittels Bildverarbeitung gestatten nur die Wahrnehmung von Partikeln ab einer Mindestgröße (beim FiberLab 3.0 ca. 10 μ m). Feinstoffe unterhalb dieser Mindestgröße sind für das Gerät nicht erkennbar. Die Feinstoff-Fraktionen wurden daher zusätzlich mit einem Einzelpartikel-Extinktionssensor (FAS 361, Fa. Topas) vermessen, mit welchem Feinstoffteilchen bis zur Größenordnung von ca. 2 μ m erfasst werden konnten. Damit wurde das Vorhandensein von für das FiberLab nicht sichtbaren Feinstoffpartikeln im Bereich 2...10 μ m untersucht. Bei einer Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Messmethoden muss beachtet werden, dass den Messungen unterschiedliche physikalische Messprinzipien bzw. erfasste Partikelmerkmale zugrunde liegen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde daher eine Umrechnung des FiberLab-Resultats auf ein dem Partikelmessgerät FAS 361 entsprechendes Ergebnis vorgenommen. Es zeigte sich jedoch, dass der bei der FiberLab-Messung im Vergleich zur McNett-Fraktionierung nicht erfassbare Feinstoffanteil mit dieser Vorgehensweise noch nicht befriedigend abgeschätzt werden kann. Aus diesem Grund wurde eine Vorschrift erarbeitet, die eine Korrektur des Feinstoffanteils auf Basis der mit dem FiberLab gemessenen Fasern und Feinstoffpartikel auch ohne zusätzliche Messungen ermöglicht.

Zerlegung der Faserlängenverteilung in McNett-Fraktionen

Anhand der vorangegangenen Schritte wurde eine Methodik entwickelt, um die Faserlängenverteilung des FiberLab in McNett-Fraktionen zu zerlegen:

- Berechnung der Masseverhältnisse zwischen Faserfraktionen aus den zunächst vorliegenden Anzahlverteilungen,
- Abschätzung des tatsächlichen, mit dem optischen Fasermessgerät nicht vollständig messbaren, Feinstoffanteils in der Faserstoffsuspension,
- Simulation von McNett-Fraktionen unter Anwendung der gefundenen Zusammenhänge zur Trenncharakteristik der McNett-Siebe

Sortierversuche im PTS-Technikum

Anhand von Trennversuchen am Drucksortiererversuchsstand des PTS-Technikums (siehe Abb. 1) wurde überprüft, wie gut eine praxisgerechte Bewertung von Trenneffekten mit Hilfe der simulierten McNett-Fraktionen möglich ist. Dazu wurden ein Langfaser-Nadelholzzellstoff und eine Modellaltpapiermischung (1.02/1.04) unter Variation von Maschinen- und Prozessparametern fraktioniert. Die Versuchsbedingungen unterschieden sich u. a. durch die verwendeten Siebkörbe (Loch- und Schlitzkörbe) sowie durch die Einstellung der relativen volumenbezogenen Überlauftrate. Zulauf, Durchlauf und Überlauf wurden beprobt und sowohl mittels McNett-Fraktionierung als auch optischer Faseranalyse mittels FiberLab 3.0 bewertet. Aus den statistischen Verteilungen des Faserlängenmessgerätes erfolgte dann die Berechnung von McNett-Fraktionen.

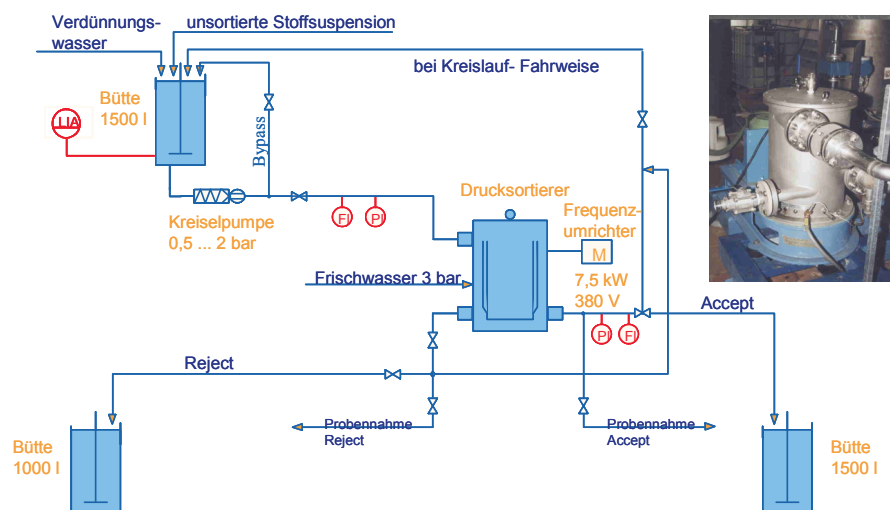


Abb. 1: Schema des Versuchsstandes Drucksortierer im PTS-Technikum (Typ - HF 300, Sortierprinzip - Zentrifugal, Menge - ab 10 kg otro/Versuch, Durchsatz 600 l/min, Zulaufdruck 0,5 - 2 bar)

Übertragbarkeit der Methodik auf andere optische Fasermessgeräte

Zur Untersuchung der Übertragbarkeit der entwickelten Methodik auf optische Fasermessgeräte anderer Hersteller wurden Vergleichsmessungen mit dem „Fibertester“ der Firma Lorentzen & Wettre durchgeführt. Diese umfassen eine Analyse ungemahlener bzw. gemahlener Lang- und Kurzfasern, den Vergleich der gemessenen Faserlängenverteilungen, die Überprüfung der Korrektur zur Abschätzung des nichterfassbaren Feinstanteils (Berücksichtigung der geräteabhängigen unteren Messgrenze) und die Simulation der „McNett-Fraktionen“.

5 Ergebnisse

5.1 Entwicklung einer Methodik zur Ableitung von McNett-Fraktionen aus mittels optischen Fasermessgeräten gemessenen Fasereigenschaftsverteilungen

5.1.1 Messprinzip und Messergebnisse des optischen Fasermessgerätes FiberLab

Messprinzip

Bei der optischen Faserlängenanalyse mit dem FiberLab wird die zu vermessende Faserstoffsuspension über eine Proben- und Verdünnungseinheit einer Messkapillare zugeführt. Dabei werden durch die Einstellung einer geeigneten Messkonsistenz und eine entsprechende Strömungsführung eine weitestgehende Vereinzelung und eine Ausrichtung der Fasern in Längsrichtung der Kapillare erreicht. Befindet sich eine Faser in der Messzelle, so verursacht diese eine zeitliche Änderung des Lichtstrahles einer Laserlichtquelle. Ein hinter der Kapillare befindlicher Detektor registriert diese Änderung. Durch Auswertung des Signalverlaufs kann auf die Gesamtzahl an Fasern während der Messung geschlossen werden (z.B. durch Impulsanalyse). Bei Anzeige einer Faser in der Messzelle wird der Blitz einer Xenon-Lichtquelle ausgelöst und die Faser mit zwei CCD-Kameras zur Längen- und Querschnittsanalyse aufgenommen (vgl. Abb. 2a). Bei der anschließenden Bildauswertung erfolgt die Bestimmung der Größen Projektionslänge L_P (Durchmesser des kleinsten, die Faser umgebenden, Kreises), Faserlänge L , Faserdurchmesser d und Faserwandstärke w (s. Abb. 2 b, c).

Ergebnisse der Bildverarbeitung

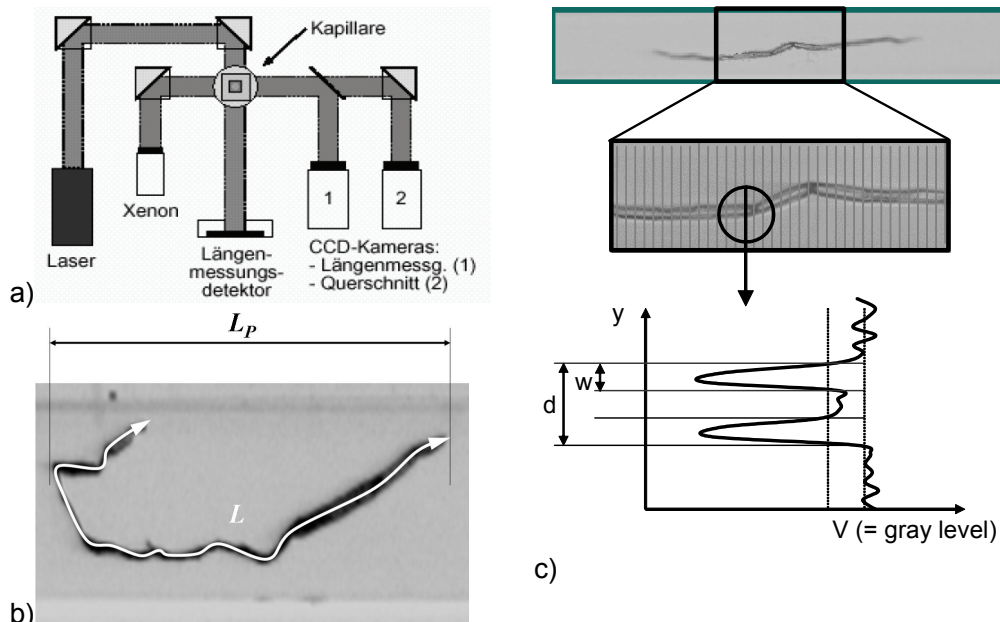


Abb. 2: Bestimmung der Fasereigenschaften beim FiberLab a) Messprinzip des FiberLab [19] b) Längenmessung (Projektionslänge L_P , Faserlänge L) c) Messung von Faserdurchmesser d und Wandstärke w [20]

5.1.2 Umrechnung der Mengenanteile unter Berücksichtigung von Faserdurchmesser und -wandstärke

Vergleichbarkeit der Messmethoden Im Vergleich der Ergebnisse der optischen Faserlängenmessung mit denen der Siebfraktionierung muss beachtet werden, dass bei der optischen Faserlängenmessung zunächst eine Anzahlverteilung der Fasereigenschaften erfasst wird, welche zur Beurteilung von Masseanteilen in einzelnen Fasereigenschaftsklassen in eine massegewichtete Verteilung umgerechnet werden muss.

Berechnung des Faservolumens Die Berechnung der volumen- bzw. (bei Annahme konstanter Faserwanddichte) massebezogenen Mengenanteile $\mu_{Vol,i}$ erfolgt unter Verwendung der gemessenen Anzahlanteile $\mu_{Anz,i}$ und der mittleren Faserlänge L_m der einzelnen Faserlängenklassen:

$$\mu_{Vol,i} = \frac{L_{m,i}^r \cdot \mu_{Anz,i}}{\sum_{j=1}^N L_{m,j}^r \cdot \mu_{Anz,j}} \quad (1)$$

Der Exponent r beschreibt dabei die Abhängigkeit des Faservolumens von der Faserlänge. Im einfachsten Fall wird eine direkte Proportionalität zwischen Faserlänge und Faservolumen bzw. Fasergewicht angenommen:

$$V_{Faser} \sim L^1 \quad (2)$$

d.h. die längenbezogene Masse (Coarseness) wird als unabhängig von der Faserlänge angesehen. Von verschiedenen Autoren wurden jedoch von diesem Ansatz abweichende Ergebnisse festgestellt und ein nahezu quadratischer Zusammenhang zwischen Faserlänge und Faservolumen bzw. Fasermasse gefunden [21, 22]:

$$V_{Faser} \sim L^2 \quad (3)$$

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Beschreibung der Fasern als Hohlzylinder (vgl. Abb. 2b) unter Verwendung der Größen Faserdurchmesser und Wandstärke. Das Faservolumen ergibt sich dann zu:

$$V_{Faser} = \pi \cdot (d_a w - w^2) \cdot L \quad (4)$$

Faservolumen und Faserabmessungen

Für verschiedene Faserstoffe wurden jeweils Faserdurchmesser, Wandstärke und Faservolumen über der Faserlänge aufgetragen (unter Verwendung von Mittelwerten für jede Faserlängenklasse mit einer Klassenbreite von 50 μm). Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die Ergebnisse für einen Kurzfasern (Eukalyptus) und einen Langfaserzellstoff (Kiefer). In beiden Fällen ist tendenziell zu beobachten, dass die Werte für Faserdurchmesser und Wandstärke mit zunehmender Faserlänge ansteigen. Während beim Eukalyptus-Zellstoff im betrachteten Faserlängenbereich näherungsweise eine lineare Abhängigkeit zwischen Faserlänge und Durchmesser bzw. Wandstärke vorliegt, ist beim Kiefernzellstoff im Bereich kleiner Faserlängen (<1mm) eine starke Zunahme von Durchmesser und Wandstärke bei wachsender Faserlänge zu konstatieren, wohingegen Durchmesser und Wandstärke bei Faserlängen > ca. 2mm näherungsweise konstant bleiben. In den jeweils größten Faserlängenfraktionen werden nur geringe Faseranzahlen gemessen, wodurch eine große Schwankung der Messwerte auftritt.

Die Abhängigkeit des Faservolumens von der Faserlänge nach (4) kann für beide Faserstoffe näherungsweise mit einer Potenzfunktion beschrieben werden, wobei sich für den Exponenten Werte von 1.48 (Eu-Zellstoff) und 1.47 (Ki-Zellstoff) ergeben. Für alle untersuchten Zellstoffe und Altpapierstoffe ergaben sich bei einer solchen Darstellung Werte für den Exponenten im Bereich von 1.44 bis 1.58. Für die durchgeführten Berechnungen nach Gleichung (1) wurde aufgrund dieser Ergebnisse ein Wert von $r = 1.5$ zur Beschreibung der Abhängigkeit $V \sim L^r$ verwendet. Damit liegt der für die Mengenartumrechnung anzuwendende Exponent zwischen denen bei Annahme einer von der Faserlänge unabhängigen bzw. einer zur Faserlänge proportionalen Coarseness (vgl. (2) und (3)).

Faservolumen vs. Faserlänge Kurzfasernzellstoff

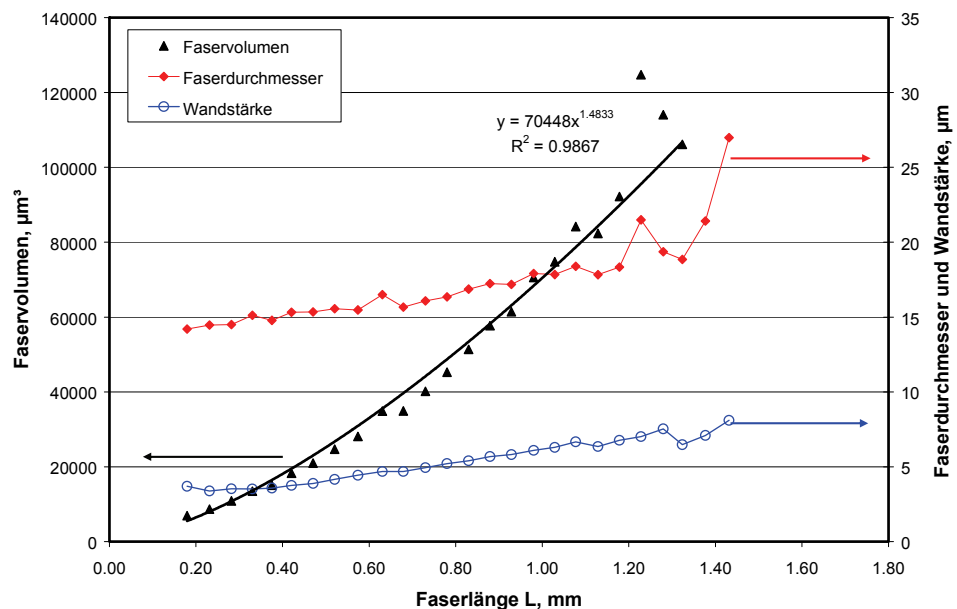


Abb. 3: Kurzfasern-Zellstoff Eukalyptus: Faserdurchmesser, -wandstärke und -volumen in Abhängigkeit von der Faserlänge

**Faservolumen vs. Faserlänge
Langfaserzellstoff**

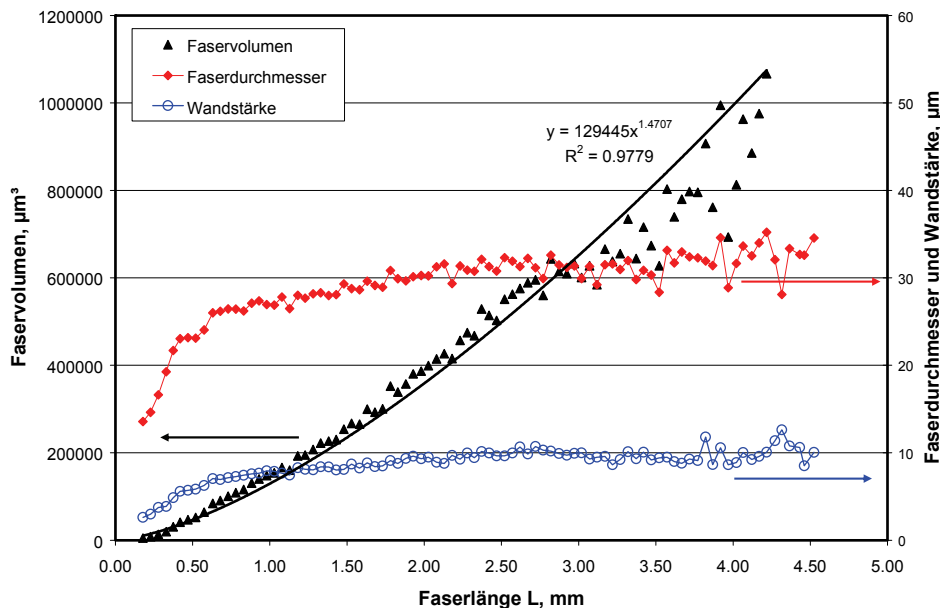


Abb. 4: Langfaser-Zellstoff Kiefer: Faserdurchmesser, -wandstärke und -volumen in Abhängigkeit von der Faserlänge

**Ergebnis der
Mengenart-
umrechnung**

In Abb. 5 sind die mit dem FiberLab gemessenen Anzahlverteilungen und die nach (1) berechneten volumen- bzw. massebezogenen Häufigkeitsverteilungen dargestellt, wobei für die Umrechnung ein Faktor von $r = 1.5$ verwendet wurde. In beiden Fällen zeigt sich die bei den volumenbezogenen Verteilungen stärkere Betonung der größeren Fraktionen. Dies führt insbesondere zu einer starken Verschiebung der Kurve für den breit verteilten Langfaserzellstoff, wo sich der mengenmäßig größte Anteil vom Feinstoffbereich hin zu größeren Faserlängen im Langfaserbereich verschiebt.

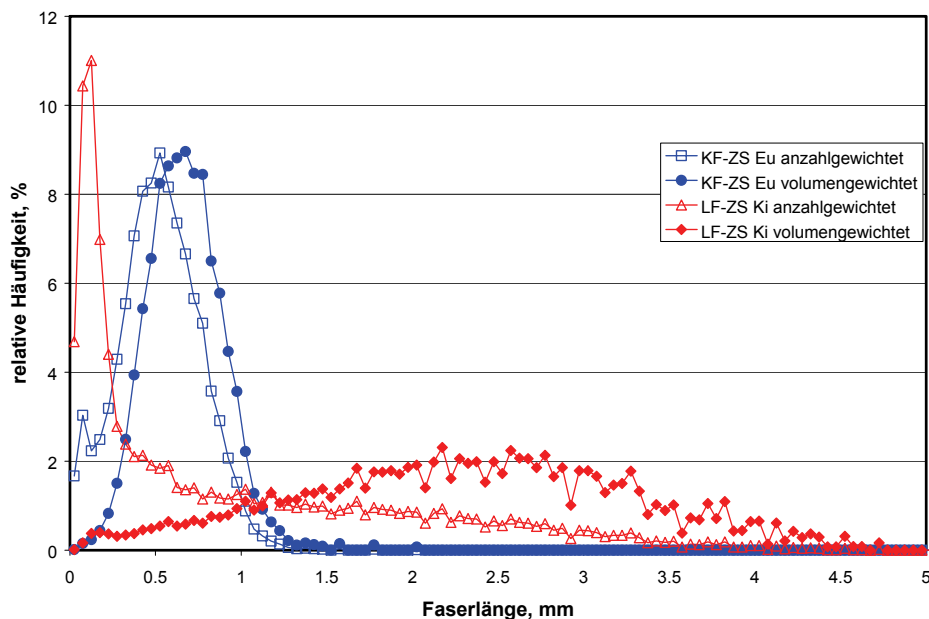


Abb. 5: Anzahl- und volumengewichtete Faserlängenverteilungen für Kurz- und Langfaserzellstoff aus Abb. 3 und Abb. 4

5.1.3 Bilanzierung der McNett-Fraktionierung

Bilanz McNett-Fraktionierung

Für die untersuchten Testfaserstoffe standen sowohl die Ergebnisse der McNett-Fraktionierung als auch die Daten der FiberLab-Messungen für die Siebrückstände und die Aufgabe zur Verfügung. Generell ergibt sich bei Verwendung der Siebe Nr. 16, 30, 50 und 100 die Bilanz für jede Faserlängenklasse i zu:

$$m_{Aufg} \mu_{Aufg,m,i} = m_{R16} \mu_{R16,m,i} + m_{R30} \mu_{R30,m,i} + m_{R50} \mu_{R50,m,i} + m_{R100} \mu_{R100,m,i} + m_{D100} \mu_{D100,m,i} \quad (5)$$

Dabei ist $\mu_{m,i}$ der Masseanteil der Größenklasse i in der jeweiligen Fraktion. Da Fasern bzw. Partikel mit Abmessungen $< 10 \mu\text{m}$ nicht von dem Messgerät FiberLab erfasst werden können, müssen die in Gl. (5) einzusetzenden Massen für die Aufgabe und den Siebdurchgang $D100$ korrigiert werden, wobei angenommen wird, dass sich nach dem Fraktioniersuch nur im Siebdurchgang des feinsten Siebes D100 Fasern und Partikel $< 10 \mu\text{m}$ befinden. Es ergibt sich:

$$m_{D100}^* = f \cdot m_{D100} \quad \text{und} \quad (6)$$

$$m_{Aufg}^* = m_{Aufg} - (1 - f) \cdot m_{D100} \quad (7)$$

wobei f den Anteil des Siebdurchganges D100 darstellt, welcher vom optischen Faserlängenmessgerät FiberLab erfasst wird ($0 \leq f \leq 1$).

Ergebnisbeispiel

Mit Hilfe der aufgezeigten Vorgehensweise zur Berechnung von massebezogenen Faserlängenverteilungen ist es nunmehr möglich, die Aufteilung der Aufgabe auf die einzelnen McNett-Fractionen zu bestimmen. Abb. 6 zeigt die massebezogenen Häufigkeitsverteilungen von Aufgabe und McNett-Fractionen für einen Altpapierfaserstoff. Dabei ist die Fläche unter den Kurven ein Maß für deren Masseanteil. Die Werte für den Siebdurchgang D100 wurden anhand der Differenz von Aufgabematerial und den Siebrückständen berechnet. Der Korrekturfaktor f wurde für diesen Fall zu $f = 0.36$ bestimmt. Die generelle Vorgehensweise zur Abschätzung des Korrekturfaktors ist in Abschnitt 5.1.5 beschrieben.

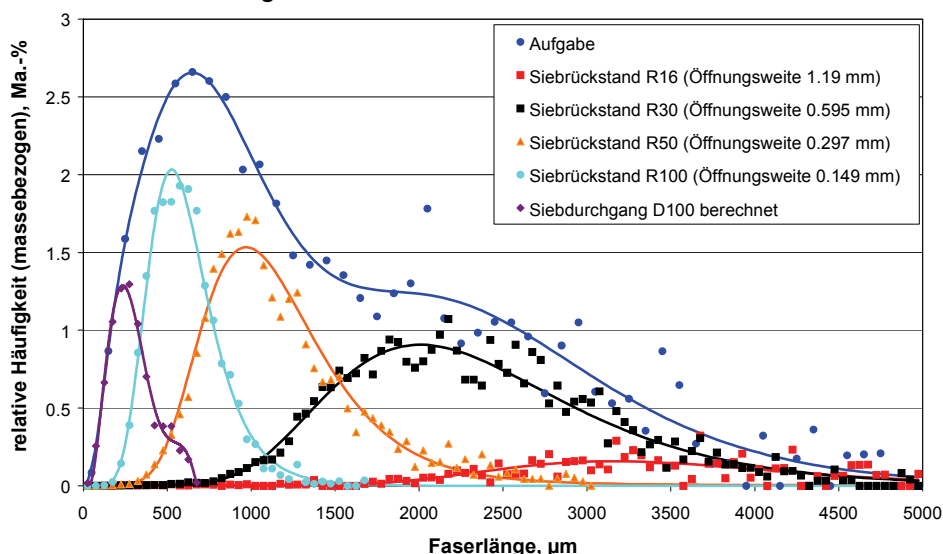


Abb. 6: Häufigkeitsverteilungen von Aufgabematerial und McNett-Fractionen (Altpapierfaserstoff TRIE-Inking)

Interpretation

Die McNett-Fraktionierung stellt keine ideal scharfe Trennung nach dem Trennmerkmal Faserlänge dar. In den einzelnen Fraktionen ergeben sich vielmehr relative breite Verteilungen. Offensichtlich können Fasern mit Faserlängen größer der Sieböffnungsweite in günstiger Lage den Siebboden passieren, da die Faserdurchmesser i. d. R. deutlich kleiner als die Siebmaschenweiten sind.

5.1.4 Beschreibung der McNett-Fraktionierung mit Hilfe der Trennfunktion

Verwendung der Trennfunktion

Die vorangegangene Betrachtung lässt es als zweckmäßig erscheinen, die McNett-Fraktionierung wie einen technischen (nichtidealen) Trennprozess zu betrachten. Zur Kennzeichnung des Trennprozesses wird häufig die Trennfunktion verwendet. Der Wert der Trennfunktion T_i für eine Faserlängenklasse i gibt an, welcher Masseanteil im Siebrückstand ausgebracht wird:

$$T_i = \frac{m_R \cdot \mu_{R,i}}{m_A \cdot \mu_{A,i}} \tag{8}$$

Analytische Beschreibung

Für die Durchtrittswahrscheinlichkeit $P(L)$ von Fasern der Länge L bei der McNett-Fraktionierung wird von GOODING und OLSEN [23] vorgeschlagen:

$$P(L) = e^{-\left(\frac{L}{\lambda}\right)^\beta} \tag{9}$$

bzw. entsprechend für den Wert der Trennfunktion:

$$T(L) = 1 - e^{-\left(\frac{L}{\lambda}\right)^\beta} \tag{10}$$

Dabei sind λ ein von der Größe der Durchtrittsöffnung abhängiger Größenparameter und β ein Formparameter, der die Steilheit der Kurve und damit die Trennschärfe des Trennprozesses beschreibt.

Darstellung der Trennfunktion

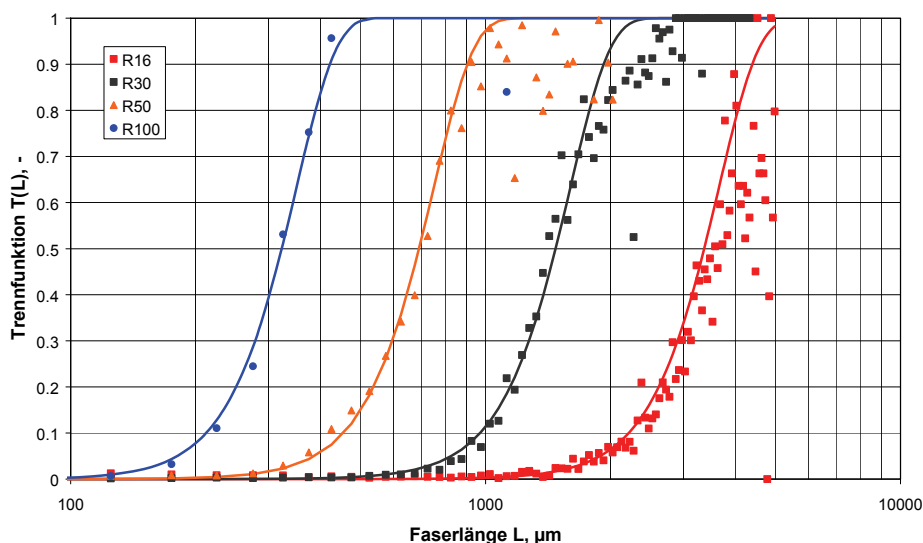


Abb. 7: Trennfunktionen für die Siebe der McNett-Fraktionierung (Symbole = Messwerte, durchgezogene Kurven = Anpassung der Messwerte nach Gl. (10))

Abb. 7 stellt die Trennfunktionen für die Siebe der McNett-Fraktionierung anhand des Beispiels in Abb. 6 dar. Dabei sind neben den Werten für die Trennfunktion nach Gl. (8) auch Kurvenverläufe nach Gl. (10) dargestellt, wobei eine Anpassung der Parameter λ und β erfolgte. Die Trennkurven für die einzelnen Siebe verlaufen jeweils ähnlich und sind gut mit einem Ansatz nach Gl. (10) beschreibbar. Der Wert für den Größenparameter λ ist näherungsweise proportional zur Sieböffnungsweite und beträgt ungefähr das 3-fache der Sieböffnungsweite. Für den Formparameter β wurde ein konstanter, d.h. von der Sieböffnungsweite unabhängiger, Wert ermittelt.

5.1.5 Korrekturvorschrift zur Erfassung des mit optischen Fasermessgeräten nicht berücksichtigten Feinstoffanteils

Vergleich berechneter / gemessener Feinstoff

Zum Vergleich von gemessenen und berechneten Feinstoffanteilen wurde unter Anwendung der in Abschnitt 5.1.4 beschriebenen Trenncharakteristik für verschiedene Testfaserstoffe und Zellstoffe der jeweilige Anteil der Fraktion D100 berechnet ($D100_{Simulation}$) und den entsprechenden Messwerten gegenübergestellt (s. Abb. 8). Es zeigt sich, dass die berechneten Werte wie erwartet kleiner ausfallen als die gemessenen. Anhand des beobachteten Trends konnte nun eine Korrekturvorschrift abgeleitet werden.

Die bei einzelnen Werten auftretenden Abweichungen sind möglicherweise auch auf Fehlereinflüsse bei den durchgeführten Messungen zurückzuführen. Für die untersuchten Altpapier-Testfaserstoffe können jedoch generell größere Abweichungen von dem bei Zellstoffen festgestellten Trend beobachtet werden, wahrscheinlich infolge der größeren Inhomogenität der Altpapiere.

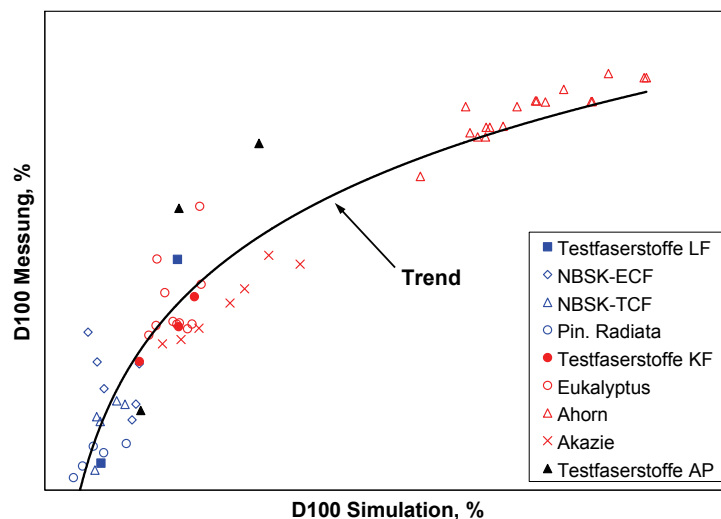


Abb. 8: Vergleich der berechneten und gemessenen Werte für die Fraktion D100 zur Ableitung einer Feinstoffkorrekturvorschrift (Testfaser- und Zellstoffe)

5.1.6 Simulation von McNett-Fraktionen und Validierung der Methodik

Methodik zur Simulation von McNett-Fraktionen

Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse wurde eine Methodik abgeleitet, mit welcher aus den Daten der optischen Fasermessung (FiberLab) solche Fraktionen abgeleitet werden, die denen der McNett-Fraktionierung entsprechen. Diese Methodik enthält eine Umrechnung der gemessenen Anzahl- in eine Masseverteilung für die einzelnen Faserlängenklassen, eine Berechnung der McNett-Fraktionen mit Hilfe der Trennfunktion und die Berücksichtigung des nicht erfassten Feinstoffanteils. Auf diese Weise können die massegewichteten Faserlängenverteilungen für die einzelnen McNett-Fraktionen bestimmt werden. Abb. 9 zeigt die sehr gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Faserlängenverteilungen für einen Kurzfasierzellstoff.

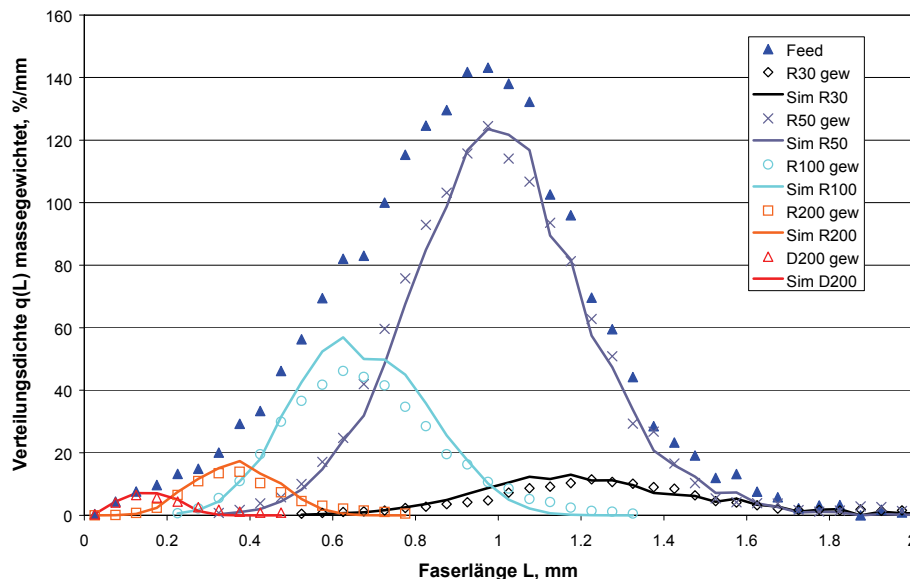


Abb. 9: Faserlängenverteilungen für berechnete und gemessene McNett-Fraktionen (Kurzfasierzellstoff Birke)

Validierung Zellstoffe

Die entwickelte Methodik wurde umfassend anhand von Stoffproben aus dem PTS-Technikum und Papierfabriken für Zellstoff- und Altpapierstoffe validiert.

Abb. 10 zeigt den Vergleich von gemessenen und berechneten Werten der Anteile in den einzelnen McNett-Fraktionen für verschiedene Kurz- und Langfasierzellstoffe. Tendenziell ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Mess- und Rechenergebnissen. Abweichungen treten zum Teil bei hohen Anteilen in den McNett-Fraktionen auf. Der Trend der Ergebnisse wird jedoch auch hier i. d. R. gut wiedergegeben. Gründe für die auftretenden Abweichungen sind u.a. auch darin zu sehen, dass sich Unterschiede der Fasereigenschaften (Morphologie, Flexibilität, Aufschlussverfahren, Grad der Vorschädigung etc.) auf das Fraktionierungsergebnis auswirken können. Die großen Anteile von 80% und darüber kommen dadurch zustande, dass wie für Zellstoffe oft eingesetzt, als Sieb mit der größten Öffnungsweite das Sieb Nr. 30 zum Einsatz kam.

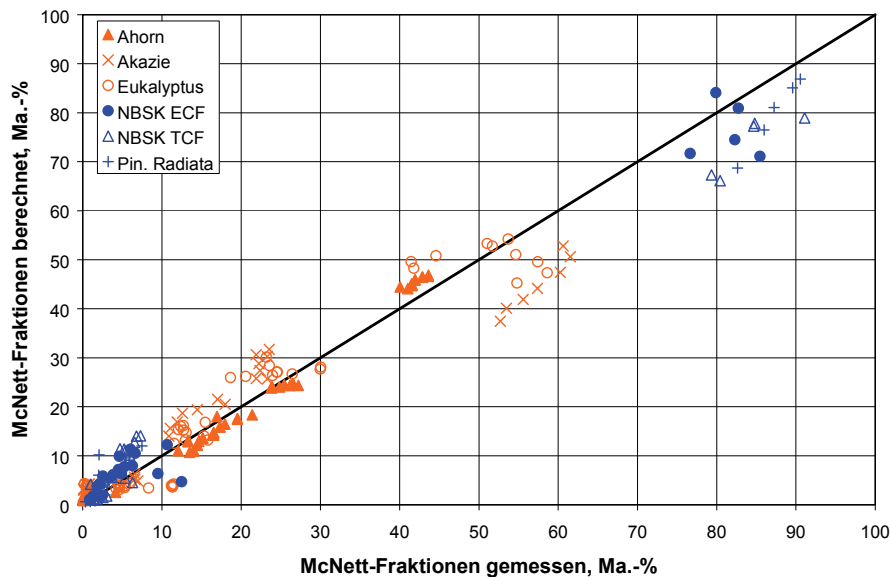


Abb. 10: Vergleich der berechneten und gemessenen Werte für die McNett-Fractionen (Kurz- und Langfaserzellstoffe)

**Validierung
Altpapierstoffe**

Zur Anwendung der entwickelten Methodik auf Altpapierstoffe wurde zunächst anhand einer Vielzahl von Proben überprüft, ob die für Zellstoffe ermittelte Funktion zur Feinstoffkorrektur übertragen werden kann. Es zeigt sich, dass der für Zellstoffe gefundene Zusammenhang bestätigt wird, wenn die Anteile der Fraktion D100_{Messung} (bezogen auf den aschefreien Faserstoff) im Bereich < 40% liegen. Die Schwankungen der Werte sind jedoch aufgrund der größeren Inhomogenität der Altpapierstoffe größer. Für Proben, die im Wesentlichen aus Feinstoff bestehen und kaum noch als Faserstoff bezeichnet werden können, wie z.B. Flotat- oder Siebwasserproben, weichen die berechneten Werte teilweise sehr stark von den Messwerten ab.

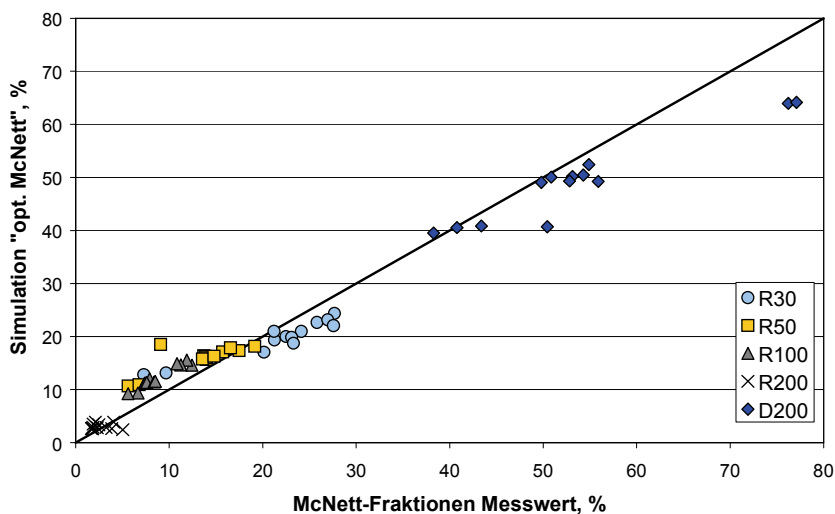


Abb. 11: Vergleich berechneter und gemessener McNett-Fractionen (Altpapierstoffe aus der Stoffaufbereitung eines Herstellers von Verpackungspapieren)

In Abb. 11 sind berechnete und gemessene McNett-Fractionen für Stoffproben dargestellt, die unmittelbar aus der Stoffaufbereitung einer Papierfabrik gewonnen wurden. Es kann eine gute Übereinstimmung zwischen Rechenergebnis und Messwerten beobachtet werden. Insbesondere die für die Durchreißfestigkeit maßgebliche Langfaserkomponente R30 wird gut wiedergegeben.

5.2 Anwendung der Methoden zur Charakterisierung von Sortierversuchen

Charakterisierung von Trenneffekten

Im vorangegangenen Abschnitt wurde gezeigt, dass die berechneten gut mit den gemessenen McNett-Fractionen übereinstimmen. Für den Einsatz der Methodik in der industriellen Praxis muss weiterhin nachgewiesen werden, dass auch das Sortierergebnis bzw. dessen Beeinflussung durch prozessbedingte Einflüsse richtig bewertet wird. Aus diesem Grund wurden die im PTS-Technikum durchgeführten Sortierversuche vergleichend durch die hier entwickelte Methodik und Laborfraktionierungen bewertet.

Aufteilung der Fraktionen in Akzept- und Rejektstrom

Abb. 12 zeigt die Aufteilung der einzelnen Faserfraktionen des Ausgangsmaterials in die Produktströme Akzept und Rejekt bei der Sortierung eines Modellalt-papierstoffes (1.02 + 1.04) mit einer Schlitzweite von 0.15 mm für die gemessenen und berechneten McNett-Fractionen. In beiden Fällen zeigt sich wie erwartet für die Langfaserfraktionen R16 und R30 eine Anreicherung im Rejekt. Die Fraktion R50 wird im Rahmen der Genauigkeit der Methoden in etwa gleich in Akzept und Rejekt ausgebracht, während die Fraktionen R100 und D100 verstärkt im Akzept ausgetragen werden. Bei kleineren Abweichungen in den Absolutwerten wird der Trend in beiden Abbildungen gut wiedergegeben.

Diagramm-darstellung zur Fraktions-aufteilung

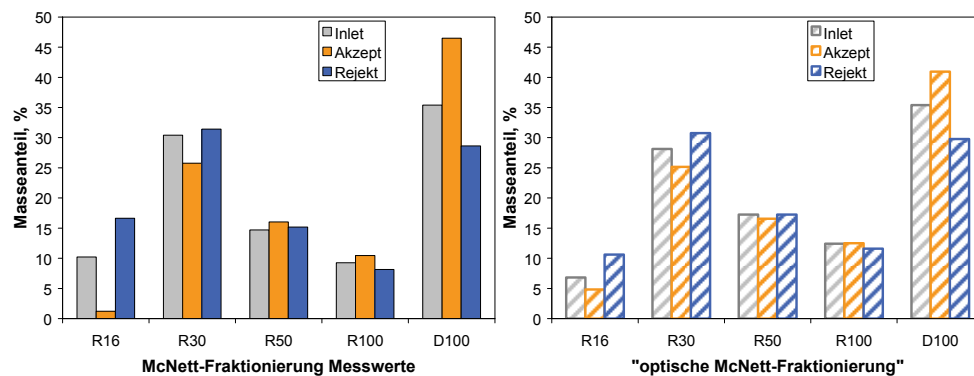


Abb. 12: Charakterisierung eines Sortierversuches mittels gemessener und berechneter McNett-Fractionen (Modellalt-papierstoff 1.02/1.04; Stoffdichte 1,5%, Volumenstrom 350 l/min, RRV 40%, Schlitzweite 0.15 mm)

Einfluss der Trennweite auf das Fraktionierungsergebnis

Im nächsten Schritt wurde dann betrachtet, welchen Einfluss eine Änderung des Sortierparameters Schlitzweite auf das Sortierergebnis hat. Abb. 13 zeigt, wie sich eine Veränderung der Schlitzweite von 0,25 auf 0,15 mm auf die Fraktionsanteile im Akzeptstrom auswirkt. Sowohl für die gemessenen als auch für die berechneten McNett-Fractionen lässt sich mit abnehmender Schlitzweite eine Verringerung der Langfaseranteile im Akzept (R16 und R30) konstatieren, während R100 und D100 ansteigen. Der Anteil der Fraktion R50 bleibt in etwa konstant. Damit wird die Auswirkung einer Schlitzweitenänderung auf die Fraktionierungsergebnisse gut mittels der berechneten McNett-Fractionen beschrieben.

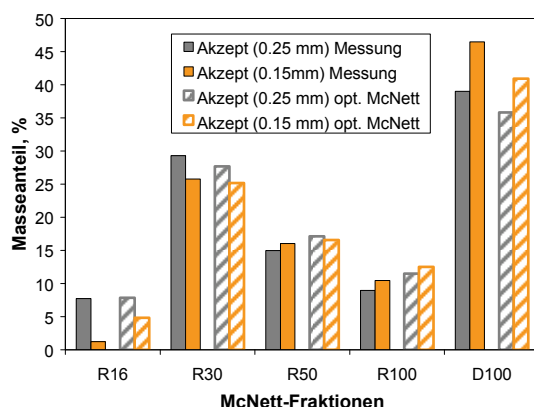


Abb. 13: Charakterisierung des Einflusses der Schlitzweite auf das Sortierergebnis anhand von gemessenen und berechneten McNett-Fractionen (Modellalt-papierstoff 1.02/1.04; Stoffdichte 1,5 %, Volumenstrom 350 l/min, RRV 40%)

Beschreibung des Sortierprozesses mit dem Screeningquotienten

In einem weiteren Schritt erfolgte die Überprüfung der für Sortierprozesse bekannten Modellvorstellung unter Verwendung des sogenannten Screening-Koeffizienten nach Nelson [24]. Der Screening-Koeffizient Q_i einer Faserfraktion i ergibt sich aus den Anteilen der Fraktion i im Akzept $\mu_{i,akz}$ bzw. im Rejekt $\mu_{i,rej}$ zu:

$$Q_i = 1 - \frac{\mu_{i,akz}}{\mu_{i,rej}} \quad (11)$$

Die Siebeffizienz E_i , d.h. der im Rejekt ausgebrachte Anteil der Fraktion i , lässt sich unter Verwendung der massebezogenen Rejekttrate RRM berechnen zu:

$$E_i = \frac{RRM}{1 - Q_i + Q_i \cdot RRM} \quad (12)$$

Unter der Voraussetzung, dass der Screening-Koeffizient unabhängig von der Rejekttrate ist, lässt sich die Siebeffizienz anhand des Screening-Koeffizienten für jeden beliebigen Wert von RRM berechnen. Zur Überprüfung dieser Bedingung sind in Abb. 14 gemessene und berechnete Werte der Siebeffizienz für einen Sortierversuch bei variiertem Rejekttrate angegeben. Die Werte für die einzelnen Screening-Koeffizienten sind in der Legende angegeben. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den durchgezogenen Kurvenverläufen und den gemessenen Einzelwerten. Der größte Trenneffekt ergibt sich für die Langfaserfraktion R16. Deshalb wurde im Folgenden insbesondere diese Fraktion zur Bewertung des Trennerfolges herangezogen.

**Screening-
koeffizient für
berechnete
McNett-
Fraktionen**

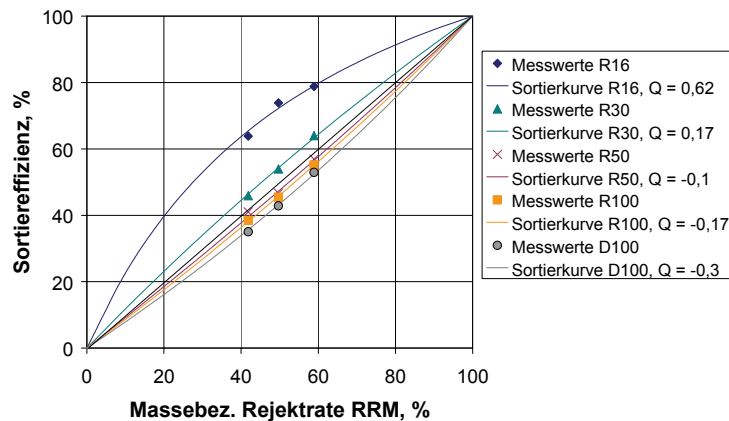


Abb. 14: Sortierkurve unter Verwendung der berechneten McNett-Fractionen (Modellaltpapierstoff 1.02/1.04, Stoffdichte 1,5 %; Umfangsgeschwindigkeit 20 m/s; Volumenstrom 350 l/min, Lochkorb 1,3 mm)

**Sortiersuche
Langfaser-
zellstoff**

Abb. 15 zeigt Sortierkurven der Langfaserfraktion R16 für die Sortierung des Langfaserzellstoffes. Als Haupteinfluss auf die Fraktionierung lässt sich hier der Siebkorb bzw. die Form der Sieböffnungen identifizieren. Bei allen Versuchen unter Verwendung der Loch-Öffnungen (\varnothing 1,3 mm) wurde eine höhere Anreicherung der Langfaserkomponente im Rejekt beobachtet als bei schlitzförmigen Öffnungen (Schlitzweite 0.25 mm). Dieses Sortierverhalten für lange Fasern ist das Resultat der Faserausrichtung bei pulsierenden Strömungen am Sieb. Offensichtlich können hierbei die Langfasern sehr viel besser durch die Schlitze hindurch treten als durch runde Öffnungen. Bei der Variation der anderen Größen ergibt sich keine wesentliche Veränderung der Siebeffizienz. Diese Größen dienen in diesem Fall dazu, die massebezogene Rejektate einzustellen.

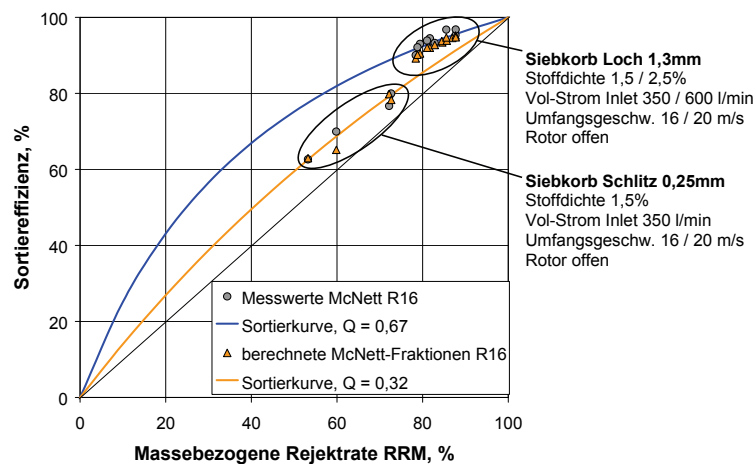


Abb. 15: Sortierkurven der Langfaserfraktion R16 für die Sortierung des Langfaserzellstoffes (Sortierparameter s. Legende)

Altpapierstoff Einfluss Siebkorb- geometrie

Ähnlich wie für den Langfaserzellstoff ist die Fraktionierwirkung der Fraktion R16 für den untersuchten Altpapierstoff zu bewerten. Auch hier tritt bei Verwendung des Lochkorbes (1,3 mm) eine stärkere Anreicherung der Langfasern im Rejekt als bei einem geschlitzten Siebkorb mit Schlitzweiten von 0,25 mm auf. Mit Verringerung der Schlitzweite auf 0,15 mm erhöht sich die Fraktionierwirkung, die dann etwa in der Größenordnung des Lochkorbes (1,3 mm) liegt (s. Abb. 16).

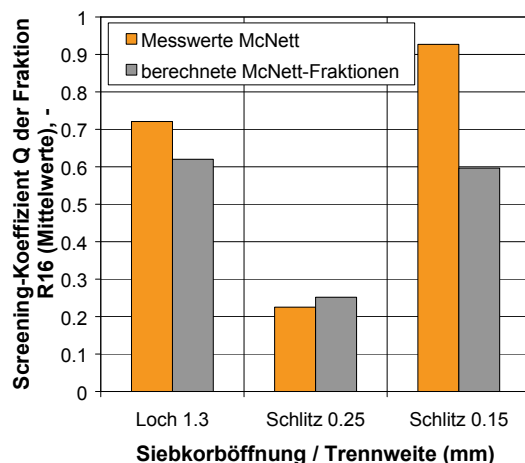


Abb. 16: Fraktionierwirkung in Abhängigkeit von der Siebkorböffnung (Modellaltpapierstoff 1.02/1.04, Stoffdichte 1,5 %; Umfangsgeschwindigkeit 20 m/s; Volumenstrom 350 l/min, Rotor geschlossen)

Altpapierstoff weitere Einflussgrößen

Neben dem Siebkorb bzw. den Siebkorböffnungen zeigt sich bei dem untersuchten Altpapierstoff ein deutlicher Einfluss der weiteren variierten Parameter. So konnte durch Anwendung der Screening-Koeffizienten z.B. ein Einfluss der Stoffdichte und der Rotor-Umfangsgeschwindigkeit auf das Fraktionierungsergebnis nachgewiesen und quantifiziert werden.

Fazit

Anhand einer Reihe von Anwendungsfällen konnte gezeigt werden, dass die berechneten McNett-Fractionen für eine Bewertung von Fraktionierungsprozessen ebenso gut geeignet sind wie die Messwerte der herkömmlichen McNett-Fraktionierung. Die Absolutwerte können im Einzelfall abweichen, der jeweilige Trend wird jedoch gut wiedergegeben. Modellvorstellungen unter Zuhilfenahme des Screening-Koeffizienten nach Nelson können in analoger Weise auf die berechneten McNett-Fractionen angewandt werden.

5.3 Übertragbarkeit der Methodik auf andere optische Fasermessgeräte

Übertragbarkeit andere Messgeräte

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der entwickelten Methodik auch auf andere optische Fasermessgeräte als das FiberLab der Fa. Metso Automation wurden ausgewählte Proben auch mit dem Messgerät Fibertester der Fa. Lorentzen & Wettre vermessen. Dabei wurden ein Langfaser- und ein Kurzfasierzellstoff, jeweils ungemahlen und mit 200 kWh/t gemahlen, analysiert. Beide Messgeräte arbeiten nach einem vergleichbaren Messprinzip. Mögliche Unterschiede existieren jedoch bzgl. Probenzuführung, Aufbau und Abmessungen der Messzelle, Auflösungsgrenze und Bildverarbeitung. So wird für den Fibertester eine untere Messbereichsgrenze von 5 µm [25], im Vergleich zu 10 µm für das FiberLab, angegeben. Weiterhin erfolgt die Messung beim Fibertester nicht in einer Messzelle mit rechteckigem Querschnitt, sondern im Spalt zwischen zwei kreisförmigen Glasplatten. Zur Bewertung der Einflüsse dieser Unterschiede wurden die mit beiden Geräten gemessenen Faserlängenverteilungen gegenübergestellt. Im Anschluss erfolgte dann die Berechnung der McNett-Fraktionen.

Langfaserzellstoff

Abb. 17 gibt einen Überblick über die mit FiberLab und Fibertester gemessenen massegewichteten Faserlängenverteilungen für den untersuchten Langfaserzellstoff. Es zeigt sich bei beiden Messgeräten ein deutlicher Effekt der Faserkürzung infolge der Mahlung. Die mit den beiden Messgeräten ermittelten Ergebnisse stimmen sehr gut überein. Lediglich im Feinstoffbereich bei sehr kleinen Faserlängen treten beim Fibertester leicht größere Anteile als beim FiberLab auf, vermutlich infolge der niedrigeren Auflösungsgrenze des Fibertesters.

Die Änderungen in den berechneten McNett-Fraktionen infolge der Zellstoffmahlung werden für beide Messgeräte in ähnlicher Weise wiedergegeben. Die Langfaserfraktion R16 nimmt deutlich ab, wohingegen in den Fraktionen R50, R100, R200 und D200 nach der Mahlung größere Anteile zu verzeichnen sind. Abweichungen sind bei der Bewertung der Fraktion R30 festzustellen. Während dieser Anteil bei Auswertung der FiberLab-Ergebnisse konstant bleibt, zeigt sich beim Fibertester eine leichte Zunahme. Weiterhin fällt auf, dass der Feinstoffanteil D200 des ungemahlenden Stoffes für das FiberLab deutlich kleiner bestimmt wird als für den Fibertester. Der Grund dafür ist in der beim Fibertester niedrigeren Auflösungsgrenze zu sehen. Eine Berücksichtigung dieses Effektes kann z.B. durch eine Anpassung der Feinstoffkorrektur (vgl. Abschn. 5.1.5) erfolgen.

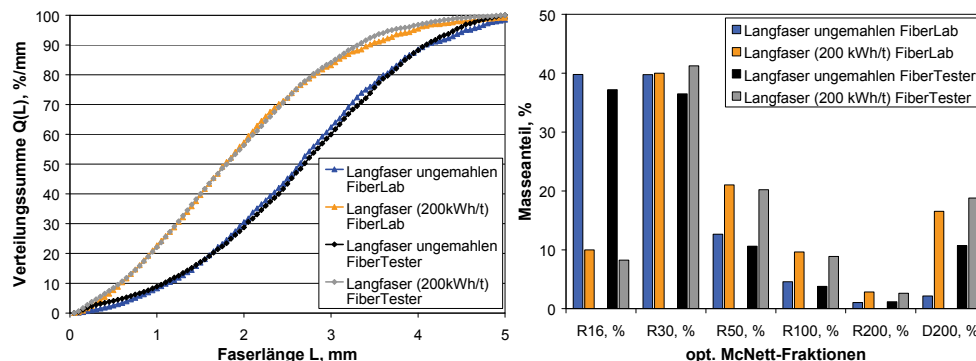


Abb. 17: Vergleich von FiberLab und Fibertester: Faserlängenverteilungen und berechnete (opt.) McNett-Fraktionen (Langfaserzellstoff ungemahlen/gemahlen)

Kurzfaserzellstoff Die massengewichteten Faserlängenverteilungen für den untersuchten Kurzfaserzellstoff sind in Abb. 18 aufgetragen. Wiederum zeigt sich ein Effekt der Faserkürzung infolge der Mahlung. Wie bereits für den Langfaserzellstoff beobachtet, ist eine gute Übereinstimmung der mit beiden Messgeräten ermittelten Ergebnisse zu erkennen. Hinsichtlich der berechneten McNett-Faktionen ist festzustellen, dass sowohl der Trend in den einzelnen Fraktionen infolge der Zellstoffmahlung als auch die Absolutwerte bei den beiden betrachteten Faser-messgeräten sehr gut übereinstimmen.

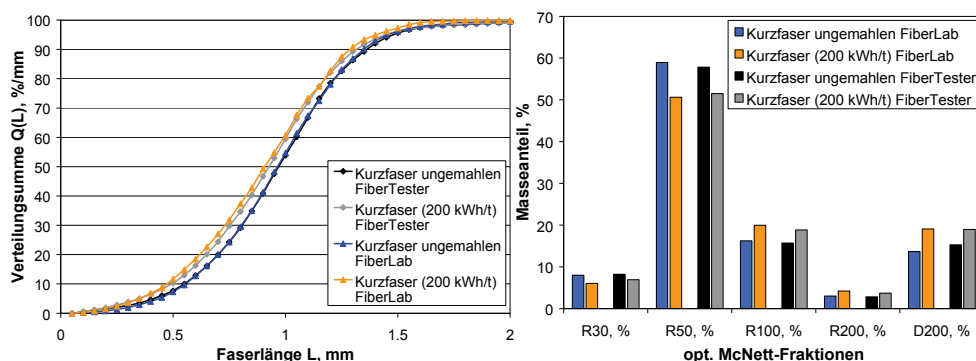


Abb. 18: Vergleich von FiberLab und FiberTester: Faserlängenverteilungen und berechnete (opt.) McNett-Faktionen (Kurzfaserzellstoff ungemahlen/gemahlen)

Fazit

Die zunächst anhand des Messgerätes FiberLab entwickelte Methodik zur Ableitung von McNett-Faktionen aus gemessenen Faserlängenverteilungen ist ohne grundlegende Anpassung bzw. Kalibrierung auch auf andere Messgeräte, wie z.B. den FiberTester der Fa. Lorentzen & Wettre, übertragbar. In Abhängigkeit von der unteren Auflösungsgrenze des jeweiligen Messgerätes ist die verwendete Korrekturvorschrift zur Berücksichtigung des nicht erfassten Feinstoffanteils zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dr. Timo Kuntzsch
Tel. 03529 / 551-614
timo.kuntzsch@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS
Pirnaer Straße 37
01809 Heidenau
Tel. 03529 / 551-60
Fax 03529 / 551-899
www.ptspaper.de

6 Symbolverzeichnis

A_0	Oberfläche
d	Durchmesser
f	vom optischen Faserlängenmessgerät erfassbarer Feinanteil
ΔH	Relative Häufigkeit
L	Faserlänge
m	Masse
P	Durchtrittswahrscheinlichkeit durch einen Siebboden
$q_3(x)$	massebezogene Verteilungsdichtefunktion
T	Trennfunktion
V	Volumen
w	Wandstärke
x	Partikelgröße
Δx	Klassenbreite
β	Formparameter
λ	Größenparameter
μ	Mengenanteil

Indizes

A	Akzept
F	Feed
R	Rejekt

Abkürzungen

Eu	Eukalyptus
FS	Faserstoff
Ki	Kiefer
KF	Kurzfaser
LF	Langfaser
ZS	Zellstoff

7 Literaturverzeichnis

- 1 ABUBAKR, S. M.; SCOTT, G.; KLUNGNESS, J.:
Fiber fractionation as a method of improving handsheet properties after repeated recycling.
TAPPI Recycling Symposium 1994 Boston, 309-312
- 2 SIEWERT, W. H.:
Potentiale zur Qualitätsverbesserung von Altpapierstoffen.
Wochenblatt für Papierfabrikation 124 (1996), 6, 217-220
- 3 BORSCHKE, D.:
Rohstoffpotentiale von Verpackungspapieren und deren Auswirkungen auf das Anlagendesign
und die Produktqualität.
Wochenblatt für Papierfabrikation 128 (2000), 7, 419-425
- 4 OLSON, J.; ALLISON, B.; FRIESEN, T.; PETERS, CH.:
Fiber fractionation for high-porosity sack kraft paper.
TAPPI J. 122 (2001), Nr.6, 66
- 5 LEVLIN, J.-E.:
On the suitability of the McNett classifier for the fibre-length classification of pulps.
Paperi ja Puu 64 (1982), Nr.4, 213-216
- 6 CLARK, J. d'A.:
Some thoughts on fiber classification and length.
TAPPI J. 68 (1985), Nr.8, 119-121
- 7 BOESE, C. E.; BJOERKMAN, A.:
What Does the McNett Classification Evince?
Paper Technology 25 (1984), Nr.1, 6-8
- 8 N.N.:
Der Faser auf der Spur.
Allgemeine Papier Rundschau 128 (2004), 6, 18/19
- 9 GANN, M.:
Online-Prozess-Steuerung.
Papier aus Österreich 2003, 6, 32-34
- 10 TURUNEN, M.; LE NY, C.; TIENVIERI, T.; NIINIMÄKI, J.:
Comparison of fibre morphology analysers.
Appita Journal 85 (2005), 1, 28/32
- 11 ÄMMÄLÄ, A.:
Fractionation of Mechanical Pulp Fibres With Slotted Screen Plates.
Int. Mech. Pulp. Conf., 2001 Helsinki, 199-207.
- 12 LEBLANC, P.; HARRISON, R.:
Fractionation of Secondary Fibers.
TAPPI J. 58; 85-87 (1975) Nr.4
- 13 TSCHIRNER, U.; RAMASWAMY, S.; COWAN, P.M.:
Characterization of Fiber Distribution in a Commercial Recycled Mill.
Progress in Paper Recycling, 29-36 (2000) Nr.11
- 14 REME, P.A.; KURE, K.-A.; GREGERSEN, O.W.; HELLE, T.:
Optimal mechanical Pulp Fibres For Improved Publication Paper: Targets And Treatments.
TAPPI International Mechanical Pulping Conference, 1999; Houston; 171 – 182.

- 15 TASMAN, J.E.:
The Fiber Length of Bauer-McNett Screen Fractions.
TAPPI J. 55, 136-138 (1972) Nr. 1
- 16 VILLFORTH, K.; SCHABEL, S.:
Fibre Classification – Model Development and Validation.
In: COST ACTION E36 Modelling and simulation in pulp and paper industry. Proceedings of Model Validation Workshop, Espoo (Finland), October 6th, 2005
- 17 BAUCKHAGE, K.; BOTTLINGER, M. ET AL.:
Experimentelle Methoden zur Charakterisierung von Faserkollektiven.
Chemie Ingenieur Technik 76 (2004), 6, 762-779
- 18 KROGERUS, B.; FAGERHOLM, K.; TIIKKAJA, E.:
Fines from different pulps compared by image analysis.
Nordic Pulp and paper Research Journal 17 (2002), 4, 440-444
- 19 N.N.:
Benutzerhandbuch FiberLab. Metso Automation
- 20 N.N.:
Präsentation: Funktion des FiberLab. Metso Automation, 1998
- 21 CLARK, J. d'A.:
Pulp technology and treatment.
Miller Greeman Publications; San Francisco, 1988.
- 22 GRAFF, S.; PARIS, J.; ROCHE, E.; RICHARD, W.:
Determination of the mass distribution of fibers from Kajaani numerical analysis.
Inv. Tec. Papel 113 (1992), 555-564
- 23 GOODING, R. W.; OLSON, J. A.:
Fractionation in a Bauer-McNett Classifier.
J. Pulp & Paper Sc. 27 (2001), Nr.12, 423-428
- 24 NELSON, G.L.:
The screening quotient: a better index for screening performance,
Tappi Journal 64, 133 - 134 (1981) Nr. 5
- 25 N.N.:
Benutzerhandbuch FiberTester. Lorentzen & Wettre