

Steuerung der Viskosität von Faserstoffsuspensionen zur Verbesserung des Sortierverhaltens

T. Brenner, G. Bär

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Abstract	2
3	Stand des Wissens und der Technik	4
4	Material und Methoden	5
5	Forschungsergebnisse	9
5.1	Entwicklung einer Methode zur Viskositätsmessung	9
5.1.1	Messinstrumente	9
5.1.2	Methode zur Viskositätsmessung.....	10
5.2	Technikumsversuche an einem Drucksortierer	13
5.2.1	Technikumsversuche zur Ermittlung des Rohstoffeinflusses.....	13
5.2.2	Technikumsversuche zur Ermittlung des Stoffdichte- und Temperatureinflusses.....	18
5.2.3	Technikumsversuche zur Ermittlung der Einflüsse von Umfangsgeschwindigkeit und der Zugabe von Additiven.....	20
5.2.4	Regressionsanalyse	23
6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	24

1 Zusammenfassung

Thema	Steuerung der Viskosität von Faserstoffsuspensionen zur Verbesserung des Sortierverhaltens.
Zielstellung	<p>Ziel des beantragten Forschungsprojektes war die Verbesserung des Sortier- sowie Fraktionierverhaltens von Faserstoffsuspensionen in Drucksortierern. Das technologische Ziel dieses Forschungsprojektes bestand in der Steigerung der Fertigstoffqualität. Wirtschaftliches Ziel war es, Voraussetzungen zur Verbesserung des Abscheidewirkungsgrades von Sortieraggregaten innerhalb der Stoffaufbereitung zu schaffen und entscheidend zu verbessern. Das Ziel der Sortierung ist die Abtrennung von Störstoffen, wobei eine möglichst hohe Überführung von Langfasern in das Akzept erreicht werden soll. Gegensätzlich verhält es sich bei der Fraktionierung, bei der eine möglichst hohe Langfaseranreicherung im Rejekt angestrebt wird.</p>
Ergebnisse	<p>Im Rahmen des Projektes wurde eine Methode zur Messung der Viskosität von Faserstoffsuspensionen, mit einer Stoffdichte bis 3 %, entwickelt. Mit dieser Methode können charakteristische Unterschiede in Faserstoffsuspensionen, die sich bspw. aus der Faserstoffart, der Temperatur sowie der Stoffdichte der Suspension oder dem Mahlgrad ergeben, gemessen werden.</p> <p>Eine Verbesserung des Fertigstoffes in Form einer Erhöhung des Tear-Index im Langfaserstrom (Überlauf) des Drucksortierers kann mit einer Erhöhung des Langfaseranteils im Überlauf erreicht werden. Als Steuergröße zur Erhöhung des Langfaseranteils im Überlauf kann die Rejekttrate genutzt werden. Suspensions-eigenschaften sowie Festigkeitseigenschaften korrelierten mit der Viskosität. Ebenfalls waren rohstoffspezifische Einflüsse auf die Viskosität ersichtlich.</p> <p>Eine Erhöhung der Stoffdichte der Faserstoffsuspension im Zulauf des Drucksortierers, und damit eine Erhöhung der Viskosität, führten zu einer erhöhten Anreicherung an Langfasern im Rejekt. Für einen Rohstoffeintrag aus den Altpapiersorten 1.02 und 1.04 konnte eine Verbesserung der Festigkeit in der Langfaserfraktion (Rejekt) in Abhängigkeit der Stoffdichte und der Temperatur realisiert werden.</p> <p>Eine verbesserte Überführung von langen Fasern in das Akzept konnte durch die Zugabe von CMC in die Faserstoffsuspension vor dem Trennelement erfolgen. Die Verluste bei der Sortierung durch das Ausschleusen von wertvollen langen Fasern über den Spuckstoff wurden damit vermindert. Ein genereller Zusammenhang zwischen der Umfangsgeschwindigkeit des Rotors und dem Sortiererergebnis konnte nicht gefunden werden.</p>

Schlussfolgerung

Die in diesem Projekt aufgenommenen Daten werden die Entwicklung eines Optimierungstools ermöglichen, das eine Vorhersage des Sortierergebnisses zulässt. Mit den Erkenntnissen aus diesem Projekt ist damit eine zielgerichtete Verbesserung der Sortierleistung von Drucksortierern möglich. Die Entwicklung des Optimierungstools war nicht Bestandteil dieses Projektes und soll in einem weiteren Projekt angegangen werden.

Als Beispiel für eine Verringerung der Kosten wurde die Herstellung von Verpackungspapieren in einem KMU mit einer Produktionsmenge von 120.000 t/a betrachtet. Durch eine verbesserte Fraktionierung kann die Zugabe von Trockenverfestigern (Hilfsmittelpreis 850 €/t) in den Langfaserstrang reduziert und somit Kosten in dieser Fabrik von 51.000 €/a eingespart werden.

Danksagung

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. IW 050273 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**Theme**

Improving screening behaviour by regulating the viscosity of pulp suspensions

Objective

The aim of the research project was to improve the screening and fractionation behaviour of pulp suspensions in pressure screens. The technological objective of the research project was to enhance finished stock quality. The economic objective was to create and decisively improve the prerequisites for enhancing the debris removal efficiency of screening systems in stock preparation. The aim of screening is to separate out contaminants, with the highest possible number of long fibres being transported into the accepts. Fractionation aims to achieve quite the opposite effect: transporting the maximum possible number of long fibres into the rejects.

Results

A method was developed within the framework of the project for measuring the viscosity of pulp suspensions with a stock consistency less than 3 %. This method can be used to measure characteristic differences in pulp suspensions that result for example from the pulp type, the temperature, the stock consistency of the suspension or the degree of refining.

The reject rate was used as the control variable for increasing debris removal efficiency. An improvement in the finished stock in the form of an increase in the tear index in the long fibre flow (reject) from the pressure screen could be achieved together with an increase in debris removal efficiency. Suspension properties and strength properties correlated with viscosity. Similarly, raw material-specific impacts on viscosity were also evident.

An increase in the stock consistency of the pulp suspensions in the pressure screen feed and thus an increase in viscosity resulted in a greater accumulation of long fibres in the reject, thus improving debris removal efficiency. Added strength could be achieved in the long fibre fraction (reject) as a function of the stock consistency and temperature for a raw material input comprising recovered paper grades 1.02 and 1.04.

The addition of CMC to the pulp suspension upstream of the separating element caused a greater number of long fibres to be transported into the accept, thus preventing screening losses due to the discharge of valuable long fibres together with the debris. No general correlations were found between the circumferential speed of the rotor and the screening results.

Conclusions

The data collected during this project will make it possible to develop an optimisation tool able to predict the results of screening. The findings from this project thus make a selective improvement possible in the screening efficiency of pressure screens. The development of the optimisation tool was not an integral part of this project and will be addressed in a separate project.

As an example of the reduction in costs, consider the production of packaging papers in a small- and medium-sized mill with a productive output of 120,000 tpa. Improved fractionation can reduce the addition of dry strength agents (price of the additives: € 850 /t) in the long fibre line, thus achieving a total savings of € 51,000 /a in this mill.

Acknowledgements

The results were obtained within the framework of Research Project No. IW 050273 that was sponsored within the framework of 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 Länder" and funded by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) through EuroNorm GmbH as project executor. We would like to express our gratitude for this support.

3 Stand des Wissens und der Technik

Papierherzeugung in Deutschland Im Jahr 2006 konnte in Deutschland eine Steigerung der Papierproduktion, um 4 % gegenüber 2005, auf ca. 22,6 Mio t Papier erreicht werden. Deutschland nimmt damit auf europäischer Ebene den ersten und weltweit den vierten Platz bei den Erzeugerländern ein. [1]

Rheologie Die rheologischen Eigenschaften von Faserstoffsuspensionen spielen in vielen Verfahrensstufen der Papierherstellung sowohl in der Stoffaufbereitung (z. B. Mahlung, Sortierung, Fraktionierung und Reinigung) als auch an der Papiermaschine (z. B. Förderung, Stoffverteilung, Entwässerung) eine wichtige Rolle. Eine Faserstoffsuspension stellt ein Dreiphasensystem dar, das aus Feststoff (hauptsächlich Cellulosefasern), Flüssigkeit (Wasser) und Gas (Luft) besteht. Die Phasen beeinflussen sich gegenseitig sehr intensiv. Unter der Einwirkung von, z.B. Trägheits-, Oberflächenspannungs- und Scherkräften kann leicht die partielle und/oder zeitliche Veränderung einer Phasenkonzentration auftreten. Eine Faserstoffsuspension ist makroskopisch heterogen in dem Sinne, dass die Fasern zur Agglomeration in Cluster oder Flocken neigen, oder - bei hohen Konzentrationen - in zusammenhängende Netzwerke, in denen lokale Faserkonzentrationen beträchtlich variieren. Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich keine zwei Fasern in Größe, Form, Zusammensetzung oder Festigkeit gleichen, so dass man die Fasern in einer Suspension nur in statistischen Termen beschreiben sollte. Insofern ist es nicht überraschend, dass die Fließeigenschaften von Fasersuspensionen komplex sind und abweichend von jedem anderen bekannten Fließmodell [2].

Drucksortierer Das Ziel der Sortierung ist die Abtrennung von Störstoffen, wobei eine möglichst hohe Überführung von Langfasern in das Akzept erreicht werden soll. Gegenätzlich verhält es sich bei der Fraktionierung, bei der eine möglichst hohe Langfaseranreicherung im Rejekt bzw. Überlauf angestrebt wird. Die Sortiereffizienz eines Vertikalsichters (Drucksortierers) kann sinnvoll über relative massenmäßige Abscheideraten einer abzutrennenden Partikelfraktion beschrieben werden. Die Berechnung des Trenngrades und die Darstellung über Trenngradkurven sind dabei übliche Bewertungsmethoden. Die Sortiergüte hängt im Wesentlichen von drei Kriterien ab, den Eigenschaften der Faserstoffsuspension selbst, den relevanten Maschinenparametern und den relevanten Prozessparametern. Wichtige Maschinenparameter sind die Siebgeometrie, die Rotorgeometrie, die Gehäuseform und die Gestaltung der Zu- und Ablaufstutzen. Entscheidende Prozessparameter sind die Einlaufstoffdichte bzw. der Stoffdichteverlauf über dem Trennelement, die Druckdifferenz über dem Trennelement als Zeitfunktion und die relative volumetrische Überlaufrate. Die Eigenschaften der Faserstoffsuspension werden im Wesentlichen durch den Rohstoffeintrag vorgegeben, aber auch durch vorgelagerte verfahrenstechnische Prozesse beeinflusst. Wesentliche Kriterien für das Verhalten im Sortierer sind Eigenschaften, welche das Fließverhalten der Suspension über dem Trennelement bestimmen. Zu nennen sind die Feststoffkonzentration (Stoffdichte), die Faserformverteilung (Faserlängenverteilung) sowie die Konzentration und Formverteilung der abzutrennenden Partikelfraktion. [3, 4, 5]

Reibungsverlust

Der Reibungsverlust ist von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig. Bei Faserstoffsuspensionen ist dieser Zusammenhang jedoch nicht linear, wie aus Abb. 1 hervorgeht. So kann der Reibungsverlust einer Faserstoffsuspension bei einer geringen Strömungsgeschwindigkeit über dem Reibungsverlust von Wasser liegen und bei einer höheren Strömungsgeschwindigkeit einen Reibungsverlust aufweisen, der geringer ist als bei Wasser. [6, 7]

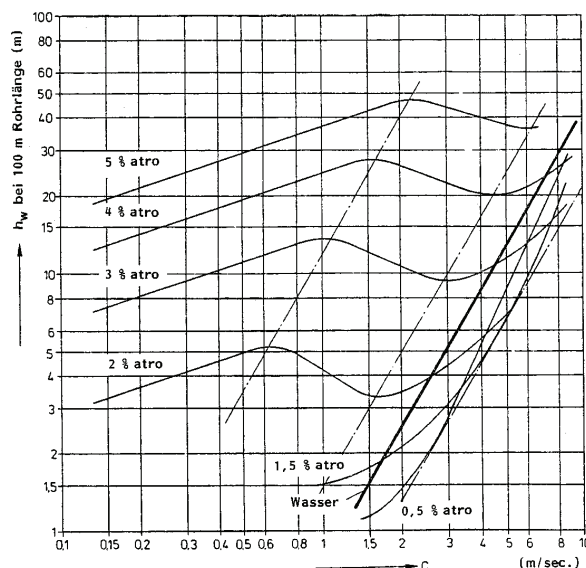


Abb. 1 Abhängigkeit des Reibungsverlustes von der Geschwindigkeit für verschiedene Stoffdichten bei ungebleichtem Sulfit-Zellstoff [7]

Verbesserung der Sortierung durch Zugabe von CMC

Paul, Duffy und Chen zeigen Wege zur Viskositätskontrolle durch den Einsatz von Additiven auf [8]. Durch die Zugabe von CMC vor der Sortierung von gebleichtem Kraftzellstoff wurde die Viskosität einer 1,2 %igen Suspension stufenweise erhöht. Im Ergebnis der Untersuchungen konnten durch die Zugabe von CMC und der damit einhergehenden Viskositätserhöhung verschiedene Vorteile aufgezeigt werden. Der Rejektindickfaktor sowie die Energieaufnahme der Zulaufpumpe des Sortierers sinken und der Wirkungsgrad des Drucksortierers wird verbessert. Der erhöhte Durchgang an langen Fasern führt zu weniger Faserverlusten bei Anwendungen zur Entfernung von Verunreinigungen.

4 Material und Methoden

Faserstoffe – Messmethode Viskosität

In Arbeitspaket 1 und 2 wurden für die Erarbeitung einer Methode zur Messung der Viskosität in Faserstoffsuspensionen folgende Faserstoffe verwandt.

Tab. 1 Verwendete Faserstoffe zur Erarbeitung Messmethode

Faserstoff	spez. Mahlarbeit [kWh/t]
gebleichter Birkensulfatzellstoff	0, 50, 100, 150, 200
ECF gebleichter Nadelholzzellstoff	0, 50, 100, 150, 200
ungebleichter Kiefersulfatzellstoff	0
Altpapiermischung (50 % 1.02, 50 % 1.04)	0, 50, 100, 150, 200
DIP	0

Aufbau Messrührer- System

Zur Messung der Viskosität wurden verschiedene Messsysteme untersucht. Das Messrührer-System MR-A 0.5 der Fa. IKA stellte sich als geeignet heraus, die Viskosität in Faserstoffsuspensionen zu messen. Dieses Messsystem besteht aus einer Drehzahl gesteuerten Antriebseinheit, an der ein Drehmomentsensor und ein Rührwerkzeug angeordnet sind. Die Drehzahl wird über einen elektronischen Drehzahlregler vorgegeben. Der Drehmomentsensor ist mit einem Drehmomentmessgerät verbunden. Die Behältergeometrie, das Probenvolumen und die Eintauchtiefe sind für jedes Rührwerkzeug definiert. Die während des Rührprozesses auftretende Reaktionskraft ist zu dem Drehmoment proportional und wird durch den Drehmomentsensor erfasst. [9]

Durchführung Viskositäts- messung

Die verwendeten Rührer sind ausgewuchtet und aus Edelstahl gefertigt. Während einer Messung wird der für den jeweiligen Rührer und Drehmomentbereich vorgeschriebene Drehzahlbereich durchfahren. Dabei wird bei einer vorgegebenen Drehzahl jeweils ein bis zwei Minuten der Messwert sekundlich aufgezeichnet und gemittelt. Ein Messvorgang ist beispielhaft in Abb. 2 abgebildet.

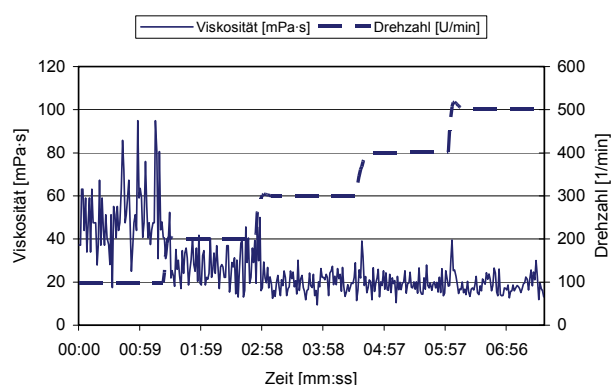


Abb. 2 Viskosität und Drehzahl eines gebleichten Birkensulfatzellstoffes bei 60°C Suspensionstemperatur und einer Stoffdichte von 10 g/l unter Verwendung eines Propellerrührers R1343.

Technikumsver- suche

Für die im Technikum der PTS Heidenau durchgeführten Versuche am Drucksortierer kamen ein gemahlener (50 kWh/t), ECF gebleichter Nadelholz Zellstoff und ein Modellaltpapierstoff zur Anwendung. Der Modellaltpapierstoff entspricht dem typischen Rohstoffeintrag von Verpackungspapierherstellern.

Versuchsstand Technikumsver- suche

Die durchgeführten Sortierversuche erfolgten mit einem Versuchsstand im Technikum der PTS Heidenau, der schematisch in Abb. 3 dargestellt ist.

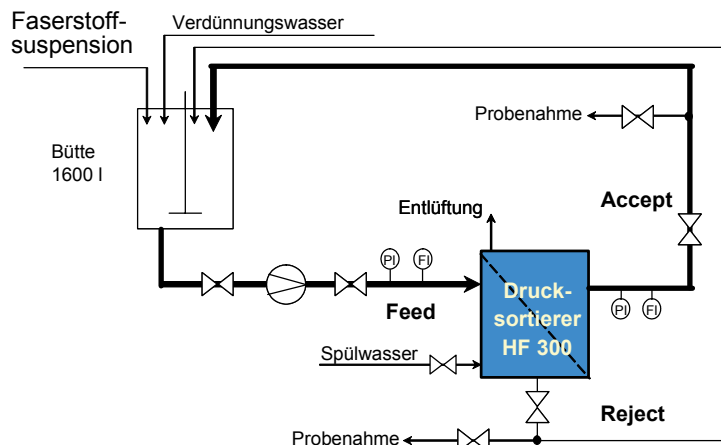


Abb. 3 Versuchsstand der PTS zur Sortierung/Fraktionierung

Beschreibung des Sortierpro- zesses

Die Beschreibung des Sortierprozesses kann mit den zwei Prinzipien Sperrsortierung (Barrier Screening) und Wahrscheinlichkeitssortierung (Probability Screening) erfolgen. Beim Barrier Screening werden Teile, die größer sind als die Perforation, in das Reject (Sortierung) bzw. den Überlauf (Fraktionierung) überführt. Beim Probability Screening hängt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Partikel den Siebkorb durchdringt, von folgenden Parametern ab; von der Größe des Loches bzw. Schlitzes im Siebkorb, der Anzahl der Dimensionen, die bei dem Partikel größer sind als das Trennkriterium; außerdem wie stark das Partikel deformiert werden kann und wie stark der Sortierprozess das Partikel deformieren kann. [10]

Die Kombination aus Barrier Screening und Probability Screening trifft bei der Abtrennung von Verunreinigungen sowie von Fein- und Füllstoffen zu. Für Faserstoffe, Stickys und Kunststoffe gilt hingegen ausschließlich das Probability Screening. Beim Probability Screening wird in zwei Modelle unterschieden, dem Mixed Flow Modell und dem Plug Flow Modell. Im Folgenden wird mit dem Mixed Flow Modell gearbeitet.

Screening-quotient

Der von G. L. Nelson definierte Screening Quotient Q_i , auch Nelson Koeffizient genannt, kann für jede einzelne Stoffkomponente i aus den Anteilen der Stoffkomponente i im Akzept und im Rejekt berechnet werden:

$$Q_i = 1 - \frac{\mu_{i,akz}}{\mu_{i,rej}} \quad \text{Gl. 1}$$

Der Vergleich verschiedener Drucksortierer ist anhand des Screening-Koeffizienten möglich. Auch der Vergleich zwischen Siebkörben oder Rotoren ein und desselben Sortierers kann damit erfolgen. Für eine hohe Anreicherung einer Stoffkomponente im Rejektstrom muss der Screening Koeffizient dieser Stoffkomponente gegen Eins streben. Bei der Anreicherung einer Stoffkomponente im Akzeptstrom strebt ihr Screening Koeffizient gegen minus Unendlich. Ein Screening Koeffizient von Null hingegen bedeutet für eine Stoffkomponente, dass keine Sortierwirkung eintritt. Die Sortierkennlinie liegt in diesem Fall auf der Winkelhalbierenden.

**Trennrate /
Sortiereffizienz**

Die Trennrate eines Sortierers kann gemäß [11] mit der massenbezogenen Rejektrate RRM und dem Screening Koeffizienten Q_i beschrieben werden. Die Trennrate E_i ist dabei der Anteil der Ausgangsmenge der Fraktion i , der ins Rejekt überführt wird.

$$E_i = \frac{RRM}{1 - Q_i + Q_i \cdot RRM} \quad \text{Gl. 2}$$

Unter der Voraussetzung, dass der Screening-Koeffizient unabhängig von der Rejektrate ist, lässt sich die Trennrate für einen vorgegebenen Wert RRM berechnen. Der größte Trenneffekt ergibt sich für die Langfaserfraktion R16.

5 Forschungsergebnisse

5.1 Entwicklung einer Methode zur Viskositätsmessung

5.1.1 Messinstrumente

Untersuchte Messinstrumente Bei der Entwicklung einer Methode zur Messung der Viskosität in Faserstoffsuspensionen sind drei verschiedene Messinstrumente untersucht worden:

- Rheometer RC20 der Fa. Rheotec,
- Viskosimeter DV-I+ der Fa. Brookfield,
- Messrührer-System MR-A 0.5 der Fa. IKA.

Rheometer Rheotec RC20

Das Rheometer RC20 ist ein Rotations-, Schubspannungs- und Kriechrheometer. Das Messsystem arbeitet nach dem Searle-Prinzip mit coaxialen Zylindern. Bei Messsystemen nach dem Searle-Prinzip steht der Messbecher fest und der Messkörper rotiert. In dem Messspalt zwischen Messkörper und Messbecher befindet sich die Messsubstanz. Der Messantrieb des Gerätes arbeitet mit einem dynamischen Messmotor-Drehgebersystem ohne Getriebe und ohne mechanischen Kraftaufnehmer. Für die Messung der Viskosität der Faserstoffsuspensionen wurde das Gerät als Rotationsrheometer verwendet, bei dem die Drehzahl (Scherrate) vorgegeben wird und das durch den Fließwiderstand der Suspension auf den Messkörper wirkende Drehmoment (Schubspannung) gemessen wird. [12] Aufgrund der definierten Geometrie des Messsystems (Messbecher, Messkörper) ist eine Rückführung der Messwerte auf physikalische Parameter wie Scherrate und Schubspannung möglich. Die Messungen erfolgten mit dem Standardmesssystem CC48 nach DIN 53019. Dieses Messsystem besitzt einen Messspalt von 0,5 mm und ist für einen Viskositätsbereich von 5 bis 32.000 mPa·s ausgelegt.

Fazit - Rheometer Rheotec RC20

Eine Verstopfung der Messgeometrie erfolgte schon bei geringen Stoffdichten (10 g/l) der Faserstoffsuspensionen (Kurzfasierzellstoff). Die Benutzung eines Rotationsrheometer mit einem Messsystem, das einen kleinen Messspalt aufweist, muss daher als ungeeignet angesehen werden.

Viskosimeter Brookfield DV-I+

Die Viskositätsmessung mit dem Viskosimeter RVDV-I+ (Brookfield) erfolgte mit den Spindeln RV1 bis RV4. Die Spindeln RV2 bis RV4 bestehen aus einem Stab, an dem eine glatte Scheibe angebracht ist. An der Scheibe der Spindel RV1 befindet sich zusätzlich ein Hohlzylinder. Der Werkstoff ist rostfreier Stahl. Im Gegensatz zum Rheometer RC20 bewegt sich der Messrührer nicht in einem streng definierten Messbehälter, sondern in einem Glasbecher, dessen Positionierung im Bezug zum Messrührer ebenfalls nicht streng definiert ist. Der Messrührer befindet sich somit frei in der Probe, so dass kein Messspalt existiert. Bei der Verwendung dieses Viskosimeters ist bei einer Messung, neben dem Messwert auch die verwendete Spindel anzugeben.

**Fazit -
Viskosimeter
Brookfield DV-I+**

Während der Messungen wurde beobachtet, dass die Viskosität während der ersten fünf Minuten nach Messbeginn um bis zu 70 % abfiel. Dies lässt auf eine Entmischung der Probe während des Messvorganges schließen. Das Viskosimeter der Fa. Brookfield des Typs DV-I+ ist daher bei der Verwendung von Spindeln zur Messung der Viskosität von Faserstoffsuspensionen nicht geeignet.

**Messrührer-
System MR-A 0.5
der Fa. IKA**

Der Aufbau und die Funktionsweise dieses Messsystems sind in Kapitel 4 beschrieben. Im Rahmen von Vorversuchen wurden ein Kurzfasernstoff und zwei Langfasernstoffe bezüglich ihrer Viskosität untersucht, um die Möglichkeiten und Grenzen des vorhandenen Messrührer-Systems MR-A 0.5 zu bestimmen.

**Fazit -
Messrührer-
System MR-A 0.5
der Fa. IKA**

Dabei wurde festgestellt, dass dieses Messsystem geeignet ist, die Viskosität von Faserstoffsuspensionen zu messen und charakteristische Unterschiede, die von verschiedenen Parametern (Stoffdichte, Temperatur, Scherrate) und der Rührergeometrie hervorgerufen werden, aufzulösen. Mit diesem Messsystem wurden in mehr als 90 Messungen systematische Untersuchungen durchgeführt, mit deren Ergebnis eine Methode zur Bestimmung der Viskosität von Faserstoffsuspensionen entwickelt werden konnte.

5.1.2 Methode zur Viskositätsmessung

Methode

Eine Methode zur Bestimmung der Viskosität von Faserstoffsuspensionen im Stoffdichtebereich bis 3 % ist erarbeitet worden. Diese enthält Angaben zur Anwendbarkeit, zur Probenvorbereitung, zur Messtechnik, zur Messergebnisauswertung sowie zur Reproduzierbarkeit.

**Einfluss
Rührerform,
Temperatur und
Scherrate
(Drehzahl) auf
Viskosität**

Der Propellerrührer (R1343) kann gegenüber den anderen Rührern Unterschiede in Suspensionseigenschaften am besten auflösen. Die Rührer R1343, R1331, R1373 messen in einem Drehzahlband von 100 bis 400 1/min, der R1302 von 400 bis 800 1/min. Unabhängig von der Rührerform sinkt die Viskosität mit steigender Drehzahl des Rührers. Mit steigender Temperatur sinkt die Viskosität ebenfalls.

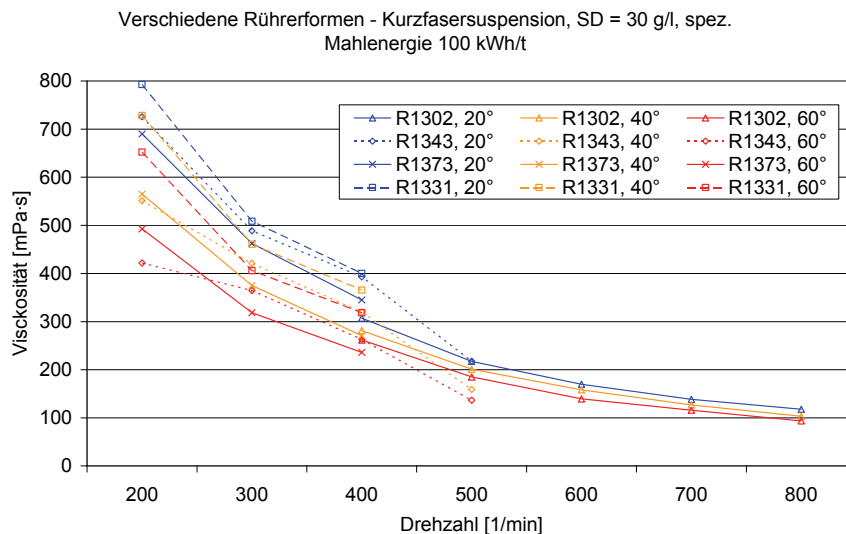


Abb. 4 Viskosität eines Kurzfaserszellstoffes bei verschiedenen Suspensions-temperaturen, mit verschiedenen Rührerformen gemessen

**Einfluss
Feststoffgehalt
der Suspension
auf die Viskosität**

In Abb. 5 ist zu erkennen, dass die Stoffdichte der Suspension einen großen Einfluss auf die Viskosität der Faserstoffsuspension besitzt.

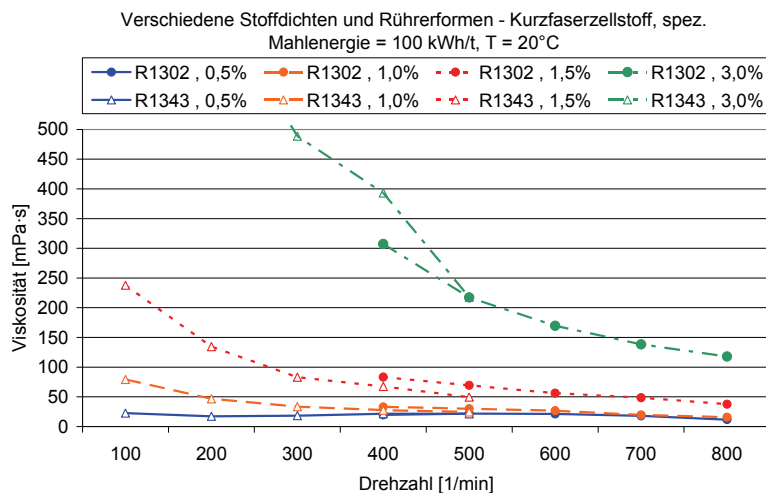


Abb. 5 Viskosität eines Kurzfaserszellstoffes bei verschiedenen Suspensionsstoffdichten, mit verschiedenen Rührerformen gemessen

Einfluss des Rohstoffes auf die Viskosität

Deutlich zu erkennen ist, dass der Langfaserzellstoff die höchste Viskosität besitzt, wohingegen der Kurzfaserzellstoff zusammen mit dem Altpapiermodellstoff die geringste Viskosität aufweist.

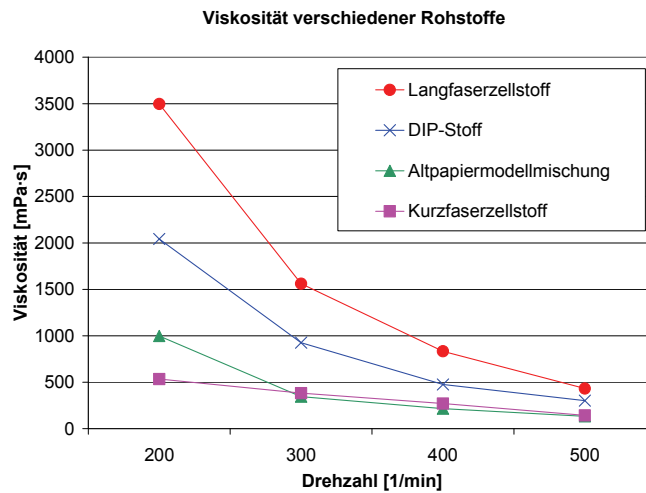


Abb. 6 Viskosität verschiedener Rohstoffe, SD = 3 %, Messtemperatur 20°C

Einfluss der Mahlung auf die Viskosität

Eine Erhöhung der Mahlenergie führt zu einer Erhöhung der Viskosität. Dies kann mit der durch die Mahlung verursachten Fibrillierung der Fasern und der damit vermehrten Bildung von Fasernetzwerken sowie der Erhöhung des Entwässerungswiderstandes erklärt werden.

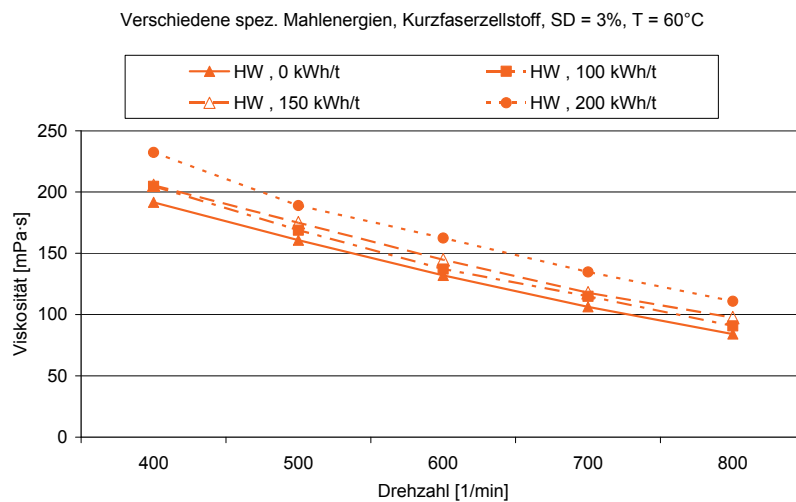


Abb. 7 Viskosität eines Kurzfaserzellstoffes bei verschiedenen spezifischen Mahlenergien

5.2 Technikumsversuche an einem Drucksortierer

Technikumsversuche	Die vorgesehenen Untersuchungen sind in 65 Sortierversuchen abgehandelt worden. Die Stoffdichten wurden dabei im Bereich von 5 bis 25 g/l variiert.
<hr/>	
Beprobung	<p>Die Probenahmen zur Bestimmung der Viskosität erfolgten unmittelbar am Zulauf sowie dem Akzept- und Rejektstutzen des Drucksortierers. Dabei wurden neben der Viskosität noch folgende Eigenschaften zur Charakterisierung des Fraktionierungsergebnisses ermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasermorphologische Eigenschaften mit FiberLab (Faserlängen-, Faserbreiten- und Faserwanddicken-Verteilung, Coarseness, Feinstoff als Anteil der Fasern < 0,2 mm) • Statischer Entwässerungswiderstand (SR-Wert) nach DIN/ISO 5267-1 • Stoffdichte (Filtration, gravimetrische Analyse) • Faserfraktionierung nach McNett • Rohdichte des Musterblattes nach DIN EN 20 534 • Tensile-Index nach DIN EN ISO 1924–2 • Tear-Index nach DIN EN 21 794 • Streifenstauchwiderstand nach DIN 54 518 • Die Energieaufnahme des Rotors wurde erfasst.

5.2.1 Technikumsversuche zur Ermittlung des Rohstoffeinflusses

Variation der Maschinen- und Prozessparameter	In diesem Arbeitspaket wurden die Maschinenparameter des Drucksortierers hinsichtlich einer bestmöglichen Faserfraktionierung angepasst. Bei dem Siebkorb kamen ein Lochkorb mit 1,3 mm Lochdurchmesser und zwei Schlitzkörbe mit je 0,25 mm und 0,15 mm Schlitzweite zur Anwendung. Der Rotor wurde zwischen einem geschlossenen und einem offenen Foil Rotor variiert. Die volumenbezogenen Rejektraten betragen bei den Sortierversuchen mit dem Lochkorb 30 %, 40 % und 50 % sowie bei den Versuchen mit den Schlitzkörben 30 % und 40 %. Darüber hinaus erfolgte in diesem Arbeitspaket die Variation des Volumenstromes.
<hr/>	
Bewertung der Versuche am Drucksortierer	Bei der Bewertung der Versuche am Drucksortierer soll sowohl die Überführung der Langfaserkomponente, hier als die R16 McNett Fraktion definiert, in den Überlauf als auch die Überführung der Kurzfaserkomponente, hier als die R100 McNett Fraktion definiert, in das Akzept betrachtet werden. Daher wird der Abstand zwischen der Sortiereffizienz der Langfaserkomponente (R16) und der Kurzfaserkomponente (R100) als Maß für die Bewertung der Effizienz der Drucksortiererversuche herangezogen und mit „Differenz E(R16) und E(R100)“ bezeichnet und in [%-Punkte] angegeben.

Ermittlung Rotortyp und Siebkorb für Altpapiermodellstoff

Für die Wahl des geeigneten Siebkorbes wurden ein Lochkorb mit 1,3 mm Öffnungsweite sowie zwei Schlitzkörbe mit 0,25 mm und 0,15 mm Öffnungsweite untersucht. Der Rotor wurde zwischen einem geschlossenen und einem offenen Foil variiert. Bei dem Lochkorb und dem Schlitzkorb mit 0,25 mm Öffnungsweite sind Versuche mit beiden Rotortypen erfolgt. Bei dem 0,15 mm Schlitzkorb kam nur der geschlossene Foil zur Anwendung.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Sortierkennlinien der mit dem Altpapiermodellstoff im Arbeitspaket 3 durchgeführten Sortierversuche aufgeführt.

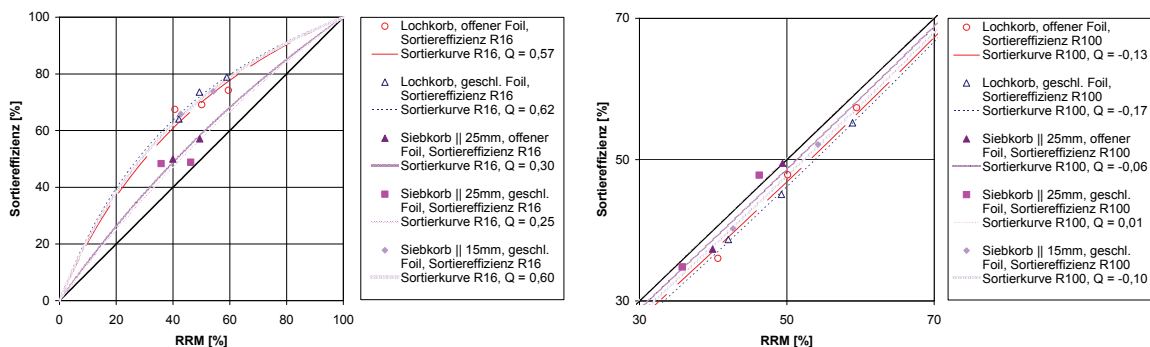


Abb. 8 Sortierkennlinien der R16- (links) und R100- (rechts) McNett Fraktion der Sortierversuche mit Modellaltpapierstoff bei verschiedenen Siebkörben und Rotortypen

Optimale Maschinenparameter für Modellaltpapierstoff

Für den Modellaltpapierstoff wurde die Kombination aus dem Loch-Siebkorb in Verbindung mit dem geschlossenen Foil Rotor als die optimalen Maschinenparameter des Drucksortierers hinsichtlich einer bestmöglichen Fraktionierung ermittelt. Dies verdeutlicht die hohe Differenz zwischen E(R16) und E(R100).

Die gute Fraktionierleistung bei dieser Siebkorb-Rotor-Kombination ist außerdem an dem niedrigen SR-Wert von 46°SR im Überlauf sowie dem hohen SR-Wert von 69°SR im Akzept abzulesen.

Optimale Rejekt-rate - Theorie

Der Sortierprozess wird in Kapitel 5.2.1 unter dem Aspekt betrieben, eine hohe Langfaseranreicherung im Überlauf und eine hohe Kurzfaseranreicherung im Akzept zu erhalten, um die Auswirkungen der verschiedenen Parameter auf das Fraktionierungsergebnis beurteilen zu können. In [11] sind Kriterien für eine Optimierung des Betriebspunktes von Trennprozessen erarbeitet worden, die die Ermittlung der optimalen Rejekttrate erlauben. Danach besteht bei der grafischen Interpretation die optimale Rejekttrate an der Stelle, an der der Abstand zwischen den Trennkurven der Langfaserkomponente, hier als die R16 McNett Fraktion definiert, und der Kurzfaserkomponente, hier durch die McNett Fraktion R100 definiert, maximal ist. Die Berechnung dieser optimalen Rejekttrate erfolgt über die Screening Koeffizienten der Langfaserkomponente und der Kurzfaserkomponente, wobei Q_1 größer als Q_2 sein muss.

$$RRM_{Optimum} = \frac{a}{b} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{b}{a}} \right) \tag{Gl. 3}$$

mit

$$a = (1 - Q_1) \cdot (1 - Q_2) \tag{Gl. 4}$$

$$b = Q_1 \cdot Q_2 - (Q_1 + Q_2) \tag{Gl. 5}$$

Optimale Rejekt-rate - Beispiel

Für die Fraktionierung des Modellaltpapierstoffes mit dem Lochkorb 1,3 mm und dem geschlossenen Foil-Rotor bei $SD = 15 \text{ g/l}$, $Q(\text{Inlet}) = 350 \text{ l/min}$, $T = 40^\circ\text{C}$, $U = 20 \text{ m/s}$ kann damit eine optimale massenbezogene Rejekttrate von 40,0 % ermittelt werden (Abb. 9). Abb. 10 bestätigt diese Aussage.

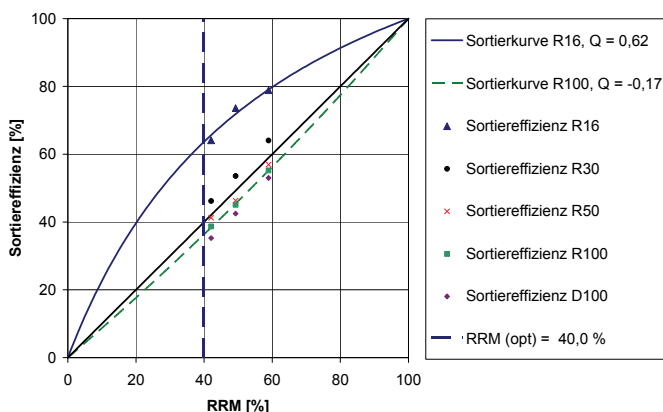


Abb. 9 Sortierkennlinien der Langfaser- und Kurzfasersfraktion

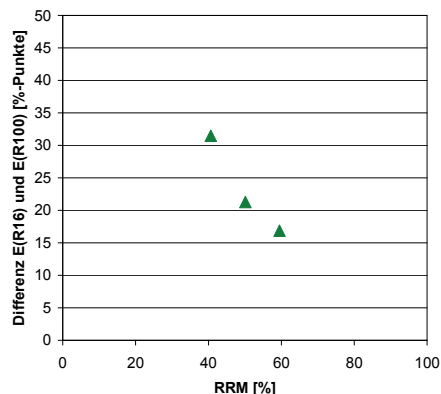


Abb. 10 Sortiereffizienz in Abhängigkeit von RRM

Unterschiede in den Fraktionen

Abb. 11 zeigt die Viskosität für die verschiedenen Stoffströme am Sortierer bei verschiedenen volumenbezogenen Rejektraten. Deutlich zu erkennen ist, dass die Viskosität im Rejekt größer ist als in den beiden anderen Stoffströmen. Die Viskosität im Akzept ist geringer als im Inlet.

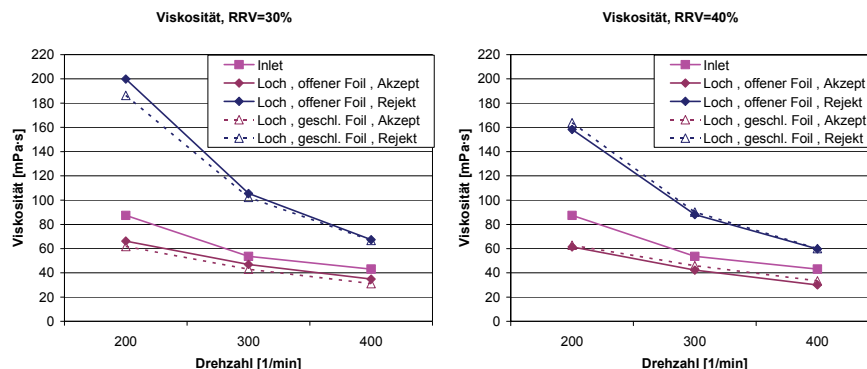


Abb. 11 Viskosität im Inlet, Akzept, Rejekt bei verschiedenen volumenbezogenen Rejektraten bei Sortierversuchen mit Modellaltpapierstoff

Korrelation zwischen Viskosität und SR-Wert

Die Bestimmtheitsmaße bei den Sortierversuchen mit Lochkorb (1,3 mm) für die während der Viskositätsmessung vorherrschenden Drehzahlen 100 bis 400 1/min betragen im Rejekt 0,86 bis 0,99 bei der Verwendung des geschlossenen Foil-Rotors. Bei der Verwendung des offenen Foil-Rotors ist hingegen keine Korrelation zu erkennen. (Abb. 12)

Eine Korrelation zwischen der Viskosität und dem SR-Wert im Akzeptstrom besteht bei Verwendung des offenen Foil-Rotors in Verbindung mit dem Lochkorb 1,3 mm nicht. Bei den Sortierversuchen mit dem geschlossenen Foil-Rotor und dem Lochkorb 1,3 mm besteht eine Korrelation (Bestimmtheitsmaß 0,87 bis 0,99) bei den während der Viskositätsmessung vorherrschenden Drehzahlen 100 bis 400 1/min.

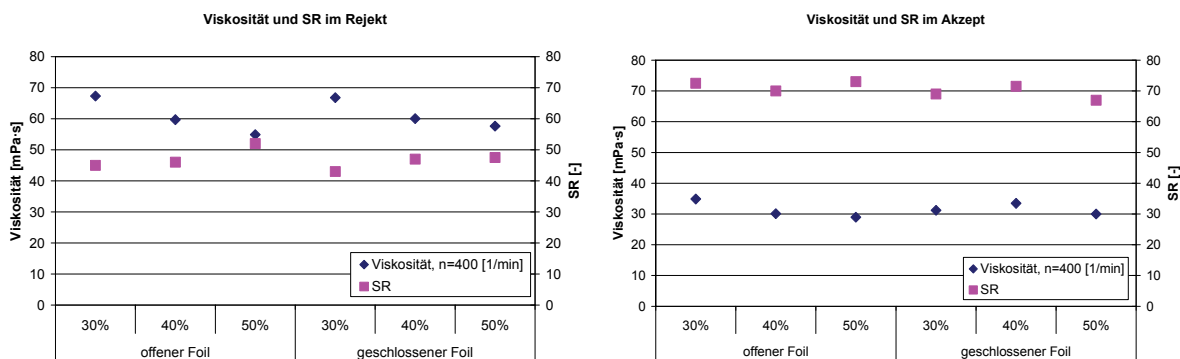


Abb. 12 Viskosität und SR-Wert im Rejekt (links) und Akzept (rechts) bei volumenbezogenen Rejektraten von 30 % bis 50 % unter Verwendung des Lochkorbes mit 1,3 mm und geschlossenem und offenem Foil-Rotor, Modellaltpapierstoff

Korrelation zwischen Viskosität und Faserlänge L(n)c im Akzept (Lochkorb)

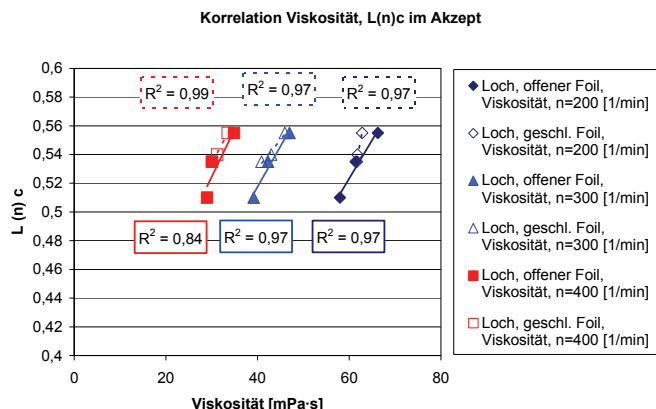


Abb. 13 Viskosität und anzahlgewichtete Faserlänge (konturbezogen) im Akzept bei volumenbezogenen Rejektraten von 30 %, 40 % und 50 % unter Verwendung des Lochkorbes mit 1,3 mm und zwei Foil-Rotoren, Modellaltpapierstoff

Ein Zusammenhang zwischen der anzahlgewichteten Konturlänge der Fasern und der Viskosität ist bei der Verwendung beider Rotoren gegeben, wie aus Abb. 13 hervorgeht und bestätigt damit die Aussagen in [13].

Erhöhung der Festigkeit bei der Fraktionierung

In Abb. 14 ist der Zusammenhang zwischen der Sortiereffizienz (Differenz E(R16) und E(R100)) und dem Tear-Index im Langfaserstoffstrom (Rejekt) aufgeführt. Bei den Versuchen mit Modellaltpapierstoff konnte mit einer Erhöhung der Sortiereffizienz eine Steigerung des Tear-Index von 15 % beobachtet werden.

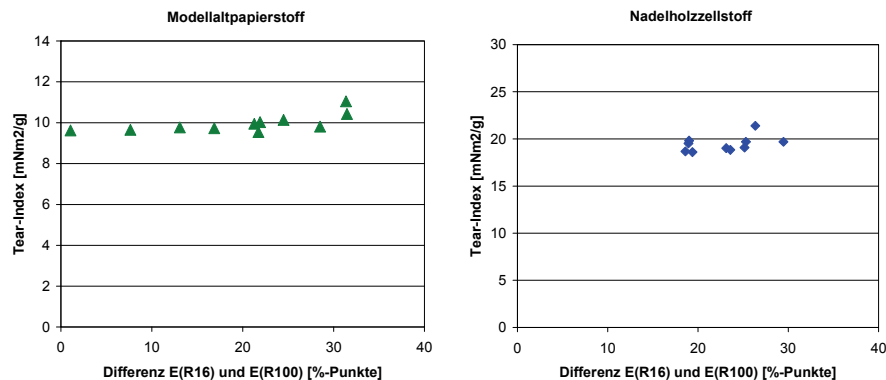


Abb. 14 Zusammenhang zwischen Festigkeit (Tear-Index) des Rejektstromes und der Sortiereffizienz für Sortierversuche mit Modellaltpapierstoff (links) und Nadelholz Zellstoff (rechts)

Fraktionierung und Mahlung

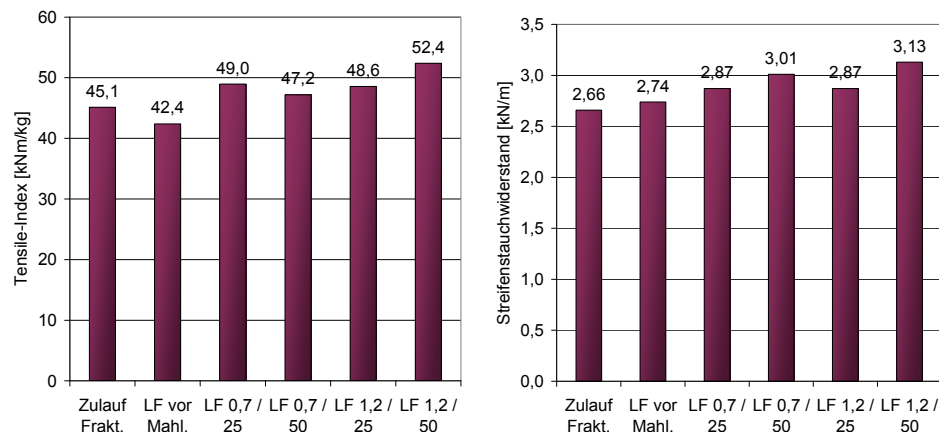


Abb. 15 Festigkeitserhöhung durch Fraktionierung und Mahlung der Langfaserfraktion

Für einen Fraktionierungsversuch (0,25 mm Schlitzkorb, offener Foil-Rotor, SD=1,5 %) ist mit der Langfaserfraktion eine Mahlung durchgeführt worden. Bei der Mahlung wurden die Mahlkantenbelastung (0,7 und 1,2 Ws/m) und die spezifische Mahlarbeit (25 und 50 kWh/t) variiert. Durch diese Verfahrenskombination ist eine Steigerung des Tensile-Index um 16 % und des SCT um 18 % erreichbar.

Fazit

Eine Verbesserung des Fertigstoffes in Form einer Erhöhung des Tear-Index im Langfaserstrom (Überlauf) des Drucksortierers kann mit einer Erhöhung der Langfaseranteile im Überlauf erreicht werden. Als Steuergröße zur Erhöhung der Langfaseranteile im Überlauf kann die Rejektrate genutzt werden. Eine Korrelation zwischen Suspensionseigenschaften (SR-Wert, Stoffdichte, Fasermorphologische Eigenschaften, McNett-Fractionen) sowie Festigkeitseigenschaften (Tear-Index, Tensile-Index) und der Viskosität konnte nachgewiesen werden. Rohstoff-spezifische Einflüsse auf die Viskosität sind ersichtlich und ergeben sich aus dem Einfluss der Morphologie der Fasern auf die Viskosität.

5.2.2 Technikumsversuche zur Ermittlung des Stoffdichte- und Temperatureinflusses

Multivariate Verfahren

Wie schon aus den vorherigen Ausführungen hervorgeht, ist eine Korrelation zwischen verschiedenen Parametern, wie der Stoffdichte oder Rejektrate und der Viskosität gegeben. Die Datenbasis aus diesem Projekt, die das Zusammenwirken mehrerer Parameter in Verbindung mit dem Fraktionierungsergebnis beinhaltet, bildet die Grundlage für die Entwicklung multivariater Verfahren, die eine Vorhersage des Sortierungsergebnisses erlauben. (Abb. 16, Abb. 17)

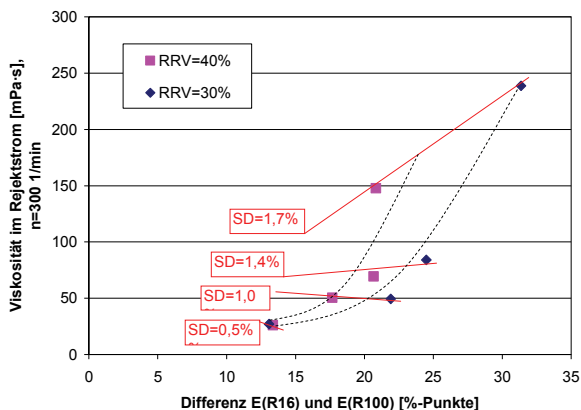


Abb. 16 Zusammenhang zwischen Sortiereffizienz und Viskosität im Rejekt

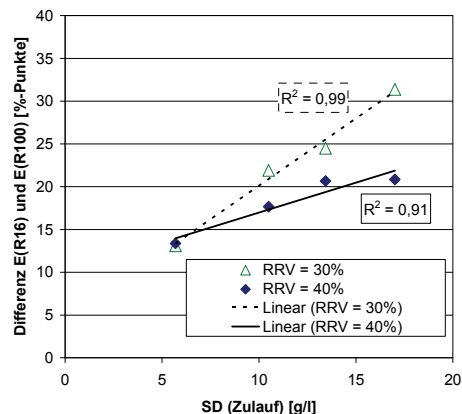


Abb. 17 Zusammenhang zwischen Stoffdichte und Sortiereffizienz

Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur

In den beiden folgenden Diagrammen ist die Viskosität bei einer Sortiertemperatur von 25°C und 50°C dargestellt. Die Messung der Viskosität erfolgte bei 40°C.

Eine höhere Sortiertemperatur führt zu einer Verminderung der Viskosität im Akzept, wohingegen im Rejekt dies in einer Erhöhung der Viskosität resultiert. Neben der hier abgebildeten volumenbezogenen Rejektrate von 40 %, ist der gleiche Trend auch bei einer volumenbezogenen Rejektrate von 30 % zu beobachten. Dies trifft ebenso bei einer volumenbezogenen Rejektrate von 40 % in Verbindung mit einem Volumenstrom von 600 l/min zu.

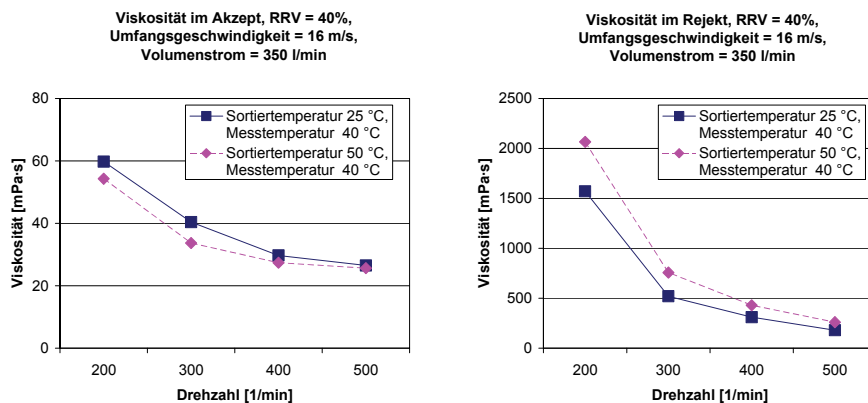


Abb. 18 Viskosität im Akzept- und Rejektstrom bei verschiedenen Temperaturen im Inlet bei Nadelholz Zellstoff, Lochkorb 1,3 mm, offener Foil-Rotor, RRV = 40 %

Festigkeiten

Abb. 19 enthält die Ergebnisse der Versuche am Drucksortierer, die mit Modellaltpapierstoff durchgeführt wurden. Dieser Modellstoff entspricht einem typischen Rohstoffeintrag bei Herstellern von Verpackungspapier. Die Erhöhung der Stoffdichte im Zulauf des Drucksortierers um ein Prozent bewirkt im Überlauf eine Steigerung des Tear-Index um 9 % und eine Verringerung des Tensile-Index um 10 %. Eine Erhöhung der Temperatur um 10°C führt im Überlauf zu einer Steigerung des Tensile-Index um 3 % und einer Verringerung des Tear-Index um 1,5 %.

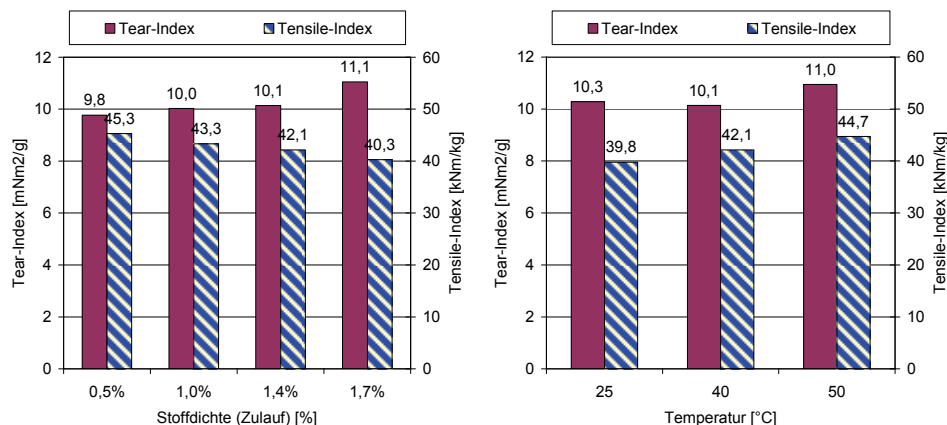


Abb. 19 Einfluss der Stoffdichte und der Temperatur der Faserstoffsuspension im Zulauf des Drucksortierers auf die Festigkeiten im Überlauf, Modellaltpapierstoff, RRV=30 %

Fazit

Eine Erhöhung der Stoffdichte der Faserstoffsuspension im Zulauf des Drucksortierers, und damit eine Erhöhung der Viskosität, führen zu einer erhöhten Anreicherung an Langfasern im Überlauf. Hersteller von Verpackungspapieren nutzen einen Rohstoffeintrag, der im Wesentlichen aus der Altpapiersorte 1.02 und 1.04 besteht. Für diesen Rohstoffeintrag kann ein Gewinn an Festigkeit in der Langfaserfraktion (Rejekt) in Abhängigkeit der Stoffdichte und der Temperatur aufgezeigt werden.

5.2.3 Technikumsversuche zur Ermittlung der Einflüsse von Umfangsgeschwindigkeit und der Zugabe von Additiven

Variation der Umfangsgeschwindigkeit

Im Arbeitspaket 5 ist die Umfangsgeschwindigkeit des Rotors bei beiden Faserstoffen mit 12, 16 und 20 m/s variiert worden (T=40°C). Bei dem Nadelholz Zellstoff erfolgte die Variation zusätzlich auch bei 50°C Prozesstemperatur.

Variation eines Additivs zur Steuerung der Viskosität

Eine gezielte Änderung der Viskosität erfolgte mit einem handelsüblichen Additiv aus Carboxymethylcellulose bei Sortierversuchen mit dem Nadelholz Zellstoff. Die Dosierung betrug dabei 0 %, 0,1 %, 0,25 %, 0,5 %, 0,75 % und 1 % bezogen auf den Faserstoff bei einer Suspensionstemperatur von 40°C und einer Stoffdichte von 1,5 %. Die Umfangsgeschwindigkeit des Rotors betrug 16 m/s und der Volumenstrom 350 l/min.

Zusammenhang Umfangsgeschwindigkeit und Sortiereffizienz

Die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit hat bei allen drei Versuchsreihen eine unterschiedliche Auswirkung auf das Sortierergebnis. Der Einfluss der Umfangsgeschwindigkeit des Rotors auf das Sortierergebnis kann daher nur in einem multivariaten Modell betrachtet werden.

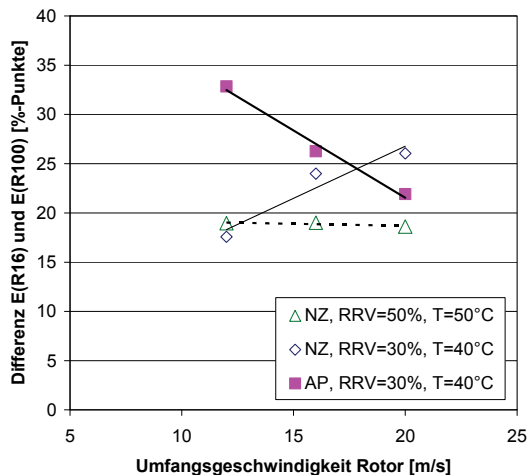


Abb. 20 Zusammenhang Umfangsgeschwindigkeit und Sortiereffizienz

Viskosität im Inletstrom in Abhängigkeit der CMC-Dosierung

Wie bei Paul, Duffy und Chen [8] ausgeführt und auch in Voruntersuchungen festgestellt wurde, führt die Dosierung von CMC in einer Faserstoffsuspension zu einer Erhöhung der Viskosität. Abb. 21 zeigt diesen Zusammenhang für den Stoffstrom vor dem Sortierelement. Ein Anstieg der Viskosität durch die Dosierung von CMC ist erkennbar, jedoch nicht in Abhängigkeit der Dosiermenge.

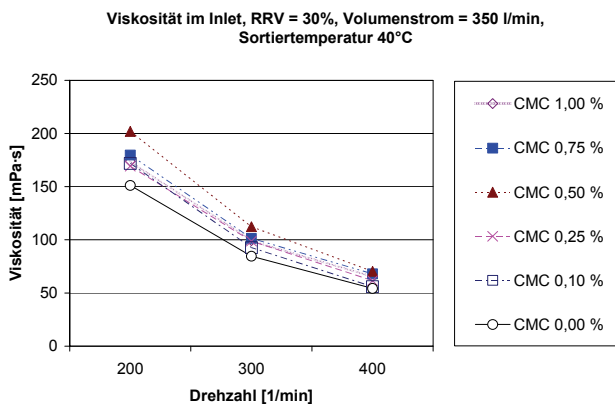


Abb. 21 Viskosität im Inlet bei verschiedenen CMC-Dosierungen, Lochkorb 1,3 mm, offener Foil-Rotor, $SD_{Inlet} = 13 \text{ g/l}$

Einfluss CMC auf Sortierergebnis

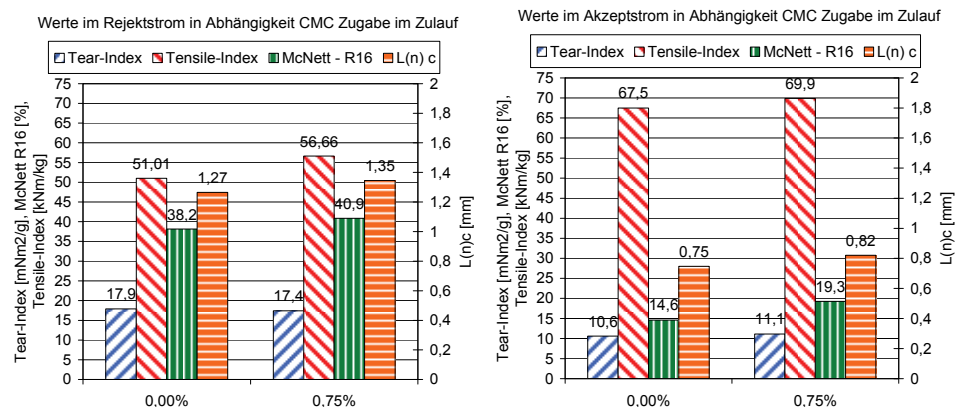


Abb. 22 Änderung verschiedener Parameter durch eine CMC-Zugabe von 0,75 % im Zulauf des Drucksortierers

Die Wirkung der CMC als Trockenfestmittel hat einen Einfluss auf den Tensile-Index, da die dem Tensile-Index zugrunde liegende Bruchkraft stark von der Faser-Faser-Bindung beeinflusst wird. Der Langfaseranteil wird in beiden Stoffströmen erhöht, was aber nur im Akzeptstrom zu einem Anstieg sowohl des Tensile-Index als auch des Tear-Index führt.

Fazit

Der bei *Paul, Duffy* und *Chen* [8] geschilderte Effekt einer verbesserten Überführung von langen Fasern in das Akzept durch die Zugabe von CMC in die Faserstoffsuspension vor dem Trennelement konnte bestätigt werden. Durch Dosierung von CMC (1 %) erhöht sich die R16 McNett Fraktion im Akzept von 14,6 auf 19,6 Massen-%, was eine bessere Überführung der Langfaserfraktion ins Akzept bedeutet. Bei der Sortierung werden somit weniger der wertvollen langen Faser mit dem Spuckstoff ausgeschleust. Ein Gewinn an statischer Festigkeit (Tensile-Index) von 10 % im Rejektstrom durch die Dosierung von 0,75 % CMC in den Zulauf ist mit einem Verlust an dynamischer Festigkeit (Tear-Index) von 3 % verbunden. Ein genereller Zusammenhang zwischen der Umfangsgeschwindigkeit des Rotors und dem Sortierergebnis konnte nicht gefunden werden. Die Zugabe von 0,5 % CMC oder mehr verringert den Eindickfaktor.

5.2.4 Regressionsanalyse

Modell Sortierprozess - Zielgröße Viskosität

Die lineare normierte Regressionsanalyse von Versuchen mit Modellaltpapierstoff unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate ergab zwischen den variierten Parametern Temperatur (T), Durchfluss im Inlet (Q), Umfangsgeschwindigkeit des Rotors (U), volumenbezogene Rejektrate (RRV), Stoffdichte im Zulauf (SD) sowie dem Zielparameter Viskosität im Rejekt den in der Tabelle aufgeführten Zusammenhang. Dabei ist ersichtlich, dass eine Änderung der Stoffdichte einen großen proportionalen Zusammenhang zur Viskosität im Rejekt aufweist. Die vier anderen Parameter haben einen in etwa gleich großen Einfluss, wobei der Zusammenhang zwischen Viskosität im Rejekt und der Umfangsgeschwindigkeit des Rotors bzw. der volumenbezogenen Rejektrate umgekehrt proportional ist.

Tab. 2 Lineares Abhängigkeitsmodell des Sortierprozesses mit der Viskosität im Rejektstrom als Zielgröße

	T	Q	U	RRV	SD	Konstante
Koeffizienten	0,07	0,08	-0,08	-0,11	0,59	-0,13
Standardfehler der Koeffizienten	0,03	0,04	0,04	0,03	0,08	0,05

Das Bestimmtheitsmaß betrug 0,88, was auf eine gute Korrelation zwischen IST-Werten und den Modelwerten schießen lässt.

Modell Sortierprozess - Zielgröße Tensile-Index

Für die während des Sortierprozesses variierten Parameter wurden mittels linearer Regression die Koeffizienten ermittelt. In Tab. 3 sind exemplarisch die Koeffizienten für den Tensile-Index berechnet. Zur Überprüfung des Modells ist der Tensile-Index einer Versuchsreihe, die nicht in das Modell eingeflossen ist, aufgeführt. Die Daten der Sortierversuche lassen sich auch für die Ermittlung des Zusammenhanges der variierten Parameter der Drucksortiererversuche und weitere Zielgrößen nutzen. Damit liefert die in diesem Projekt generierte Datenbasis eine profunde Grundlage zur Erarbeitung von Modellen, die den Sortierprozess beschreiben.

Tab. 3 Koeffizienten des linearen Abhängigkeitsmodells des Tensile-Index von Parametern der Drucksortierung, mit Beispiel

	T	Q	U	RRV	SD	Konstante	Tensile- Index MODELL	Tensile- Index IST
Akzept	-0,1300	0,0215	1,4093	0,3004	-0,1774	2,9133	36,92	35,39
Rejekt	0,1015	0,0069	0,8790	0,0951	-0,1679	19,2590	43,16	42,16

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Verwertung der Projektergebnisse durch Papierhersteller	<p>Die Ergebnisse des Projektes sind für die Hersteller von Papier anwendbar, um eine zielgerichtete Fahrweise von Drucksortierern in der Stoffaufbereitung zu realisieren.</p> <p>Die Erhöhung der Trennschärfe bei der Fraktionierung verursacht bei Herstellern von Verpackungspapieren geringere Prozesskosten in den nachgeschalteten Aggregaten im Langfaserstrang.</p> <p>Die Ergebnisse dieses Projektes sind darüber hinaus allgemein für Papierproduzenten verwertbar, da die Sortierung einen wichtigen Verfahrensschritt bei der Herstellung von Papier, sowohl aus Zellstoff als auch aus Altpapier, darstellt. Die Ergebnisse zur Sortierung ergeben sich in diesem Projekt zum einen aus den durchgeführten Sortierversuchen und zum anderen aus der Übertragung der Ergebnisse der Fraktionierungsversuche auf die Sortierung. Bei letzterem wird die Überführung der R16 McNett Fraktion in den Überlauf des Drucksortierers betrachtet.</p>
Verwertung der Projektergebnisse durch Maschinenbauer	<p>Bei der Konstruktion von Sortieraggregaten zur Fraktionierung oder Sortierung von Faserstoffsuspensionen ist das Verständnis über die Fließeigenschaft der Faserstoffsuspension von entscheidender Bedeutung. So sind zum einen die Maschinenbauer der Sortieraggregate und zum anderen deren Zulieferer, die die Sortierkörbe fertigen, eine Zielgruppe der Ergebnisse dieses Projektes.</p> <p>Ebenfalls sind die Kenntnisse aus diesem Projekt für Maschinenbauer, die Armaturen für die Papierindustrie fertigen, von Interesse.</p>
Reduzierung Faserstoffverluste	<p>Bei der Sortierung von Altpapierstoff sind Verunreinigungen, wie Stickys oder Kunststoffteile zu entfernen. Mit diesem Abscheidevorgang ist zwangsläufig auch die Ausschleusung von Fasern verbunden, insbesondere Langfasern. Gebot der Wirtschaftlichkeit ist es daher, diese Faserverluste im Trennaggregat zu minimieren bei gleichzeitig hoher Reinigung des Faserstoffes.</p>
Rejektrate	<p>Die üblichen Rejektraten bei der Sortierung von Faserstoff liegen im Bereich von 15 % bis 35 % massebezogen. Bei der Feinsortierung sind auf Grund der geringeren Stoffdichten der Faserstoffsuspension Rejektraten im Bereich von 5 % bis 15 % realisierbar, da dort ein Verstopfen des Siebkorbtes infolge der geringen Stoffdichten nicht eintritt.</p>
Erhöhung der Trennschärfe	<p>Bei der Fraktionierung von Faserstoff soll die Überführung von möglichst viel Langfaserstoff in das Rejekt und möglichst viel Kurzfaserstoff in das Akzept erfolgen. Eine übliche Aufteilung der Feststoffmassenströme ist die Überführung von 40 % in den Überlauf und 60 % in den Durchlauf.</p>

Reduzierung der Faserstoffverluste - Rejektrate

Wie unter Kapitel 5.2.1 aufgeführt, ist die Berechnung der optimalen Rejektrate aus den Screening Koeffizienten der Lang- und Kurzfaserkomponenten möglich. Der Einfluss der Rejektrate auf die Anreicherung der Langfaserfraktion im Überlauf geht aus den Tabellen hervor.

Tab. 4 Änderung der Langfaserkomponente (R16) im Überlauf durch Änderung der RRV um 10 % bei $Q(\text{Inlet, solids}) = 4 \text{ t/h}$ unter Verwendung des Lochkorbes, SD 15 g/l, T 40°C, Modellaltpapierstoff

Siebkorb	Loch 1,3 mm			
	offener Foil		geschl. Foil	
RRV [%]	30	40	30	40
RRM [%]	41	50	42	49
Differenz RRM [%]	18,9		14,6	
Rejekt R16 [t/h]	0,221	0,219	0,212	0,265
Differenz R16 [%]	-0,9		20,0	

Tab. 5 Änderung der Langfaserkomponente (R16) im Überlauf durch Änderung der RRV um 10 % bei $Q(\text{Inlet, solids}) = 4 \text{ t/h}$ unter Verwendung von Schlitzkörben, SD 15 g/l, T 40°C, Modellaltpapierstoff

Siebkorb	25mm				15mm	
	offener Foil		geschl. Foil		geschl. Foil	
RRV [%]	30	40	30	40	30	40
RRM [%]	40	49	36	46	43	54
Differenz RRM [%]	19,2		22,6		21,3	
Rejekt R16 [t/h]	0,156	0,160	0,143	0,161	0,196	0,245
Differenz R16 [%]	2,2		11,6		20,1	

Die Tabellen geben den Anteil an Langfaserfraktion (R16) im Überlauf in [t/h] wieder, der sich aus den Sortierversuchen unter Hochrechnung des Inlet-Feststoffmassenstromes auf 4 t/h ergibt. Die Erhöhung der volumenbezogenen Rejektrate von 30 % auf 40 % führt bei der Verwendung des geschlossenen Foil-Rotors zu einer Verringerung des Langfaseranteils um 11 % bis 20 % bzw. um 0,02 bis 0,05 t/h.

Minimierung von Hilfsmittelkosten

Bei der Herstellung von Verpackungspapieren ist die Zugabe von Trockenverfestigern zu dem Faserstoff in der Nasspartie eine gängige Methode zur Erhöhung der Festigkeit der Papiere. Bei der Zugabe des Leimungsmittels in den Langfaserstrang ist durch eine Reduzierung der zu behandelnden Menge eine Einsparung des Hilfsmittels möglich. Die Reduzierung der Feststoffmasse im Langfaserstrang kann dabei durch die verringerte Überführung der Kurzfasern in den Überlauf während der Fraktionierung realisiert werden. Bei der Produktion mehrlagiger Erzeugnisse ist der Einsatz der verschiedenen Fraktionen des Faserstoffes in den unterschiedlichen Lagen des Papiers möglich. Übliche Dosiermengen bei der Zugabe von Stärke in die Masse sind 1,0 % bis 1,5 % Hilfsmittel bezogen auf den Faserstoff. Aufgrund der hohen Störstoffgehalte in der Altpapiersuspension ist die Verwendung modifizierter Stärkeprodukte (nicht abgebaute kationische Stärke) erforderlich, die durchschnittlich 800 bis 900 €/t Hilfsmittel kostet.

Beispiel zur Minimierung von Hilfsmittelkosten

In Tab. 6 ist eine Beispielrechnung zur Reduzierung der Hilfsmittelkosten durch die verbesserte Fraktionierung bei einer Produktionsmenge von 100.000 t pro Jahr und einem Hilfsmittelpreis von 850 €/t bei 1 %iger Dosierung aufgeführt.

		Hilfsmittelkosten	
		€/t Produkt	T €/a
RRM	40%	3,4	340
RRM	35%	3,0	298
Einsparung		0,4	43

Tab. 6 Hilfsmittelkosten Trockenverfestiger für unterschiedliche Fraktionierbedingungen

Minimierung Energiekosten bei Mahlung

Die Herstellung mehrlagiger Verpackungspapiere, wie Wellpappenrohpapier, erfolgt in Deutschland zu einem großen Teil auf der Basis von Altpapier. In der Stoffaufbereitung dieser Papierfabriken ist in der Regel eine Fraktionierung eingerichtet. Diese ermöglicht eine gezielte Bearbeitung der Teilströme, so dass beispielsweise eine Reaktivierung des Faserpotenzials der Langfaser erfolgen kann. Bei der Mahlung der Langfaserfraktion führt ein geringerer Anteil an Kurzfasern, wie er bei einer besseren Separierung der langen Fasern bei der Fraktionierung erreicht werden kann, zu einer verminderten Bildung von Faserfeinstoff, was einen positiven Einfluss auf das Entwässerungsverhalten in der Siebpartie und damit indirekt auf die Maschinengeschwindigkeit bzw. die Produktivität der Papiermaschine hat. Weiteren Anlass zur Betrachtung des Entwässerungsverhaltens gibt auch die Verschlechterung der Altpapierqualität [14].

Beispiel zur Minimierung der Energiekosten bei Mahlung

Im folgenden Beispiel sollen die Kosten für eine Verringerung der Mahlenergie (Mahlung Langfaserstrang) abgeschätzt werden, die infolge einer Verringerung des Massenstromes im Langfaserstrang (siehe Kapitel 5.2.1 – Optimale Rejektrate) bei der Fraktionierung erreicht werden können. Für die Mahlung, als dem energieintensivsten Prozess in der Stoffaufbereitung, werden ein spezifischer Energieeinsatz von 80 kWh/t sowie ein Strompreis von 5 ct/kWh angenommen.

		Energiekosten Mahlung	
		€/t Produkt	T €/a
RRM	40%	1,6	160
RRM	35%	1,4	140
Einsparung		0,2	20

Tab. 7 Energiekosten bei unterschiedlichen Fraktionierbedingungen für eine Produktion von 100.000 t/a

**Minimierung
Energiekosten
bei
Dispergierung
grafischer
Papiere**

Die Implementierung einer Fraktionierung in die Aufbereitung von grafischem Altpapier (Deinkinganlage) birgt Vorteile durch die separate Behandlung der Teilströme, wie in [15] gezeigt werden konnte. So ist durch die Umfahrung der Dispergierung mit der Kurzfaserfraktion eine Kapazitätssteigerung der Anlage bzw. eine Verminderung der Aggregatgrößen möglich. Außerdem führt die Dispergierung von ausschließlich der Langfaserfraktion zu einer besseren Aktivierung der Fasern, einer besseren Ablösung der Druckfarben und zu einer wirkungsvolleren Bleiche. All diese Vorteile lassen einen vermehrten Einsatz der Fraktionierung auch bei der Herstellung von grafischen Papieren auf der Basis von Altpapier erwarten, so dass auch diese Produzenten von den Ergebnissen der Fraktionierungsuntersuchungen dieses Projektes profitieren.

**Beispiel zur
Minimierung
Energiekosten
bei
Dispergierung**

Das folgende Beispiel zeigt das Einsparpotenzial auf, das bei der Implementierung der Fraktionierung in einer Standard-Zwei-Loop Deinkinganlage für Zeitungsdruckpapier durch die Verringerung von Elektroenergie bei der Dispergierung möglich ist. Dabei soll eine LC-Fraktionierung erfolgen, die im zweiten Loop die Umfahrung des Dispergers mit dem Kurzfaserstrang (60 %) ermöglicht. Als spezifischer Energieeinsatz für die Dispergierung werden 45 kWh/t sowie ein Strompreis von 5 ct/kWh veranschlagt.

	Energiekosten Dispergierung	
	€/t Produkt	T €/a
Vollstrombehandlung	2,25	225
Teilstrombehandlung LF 40%	0,9	90
Einsparung	1,4	135

Tab. 8
Energiekosten für Dispergierung (Vollstrom / Teilstrombehandlung), Produktion von 100.000 t/a

**Erzielung
höherer
Produktpreise**

Die Dosierung von 0,75 % CMC (Preis 2,50 €/kg) verursacht Hilfsmittelkosten von durchschnittlich 20 €/t Papier. Wenn die damit verbundene Festigkeitssteigerung die Aufwertung des Papiers zu einer nächst höheren Qualitätsklasse ermöglicht, dann ist eine Erlössteigerung von 30 €/t Papier möglich (Beispiel: Testliner 3: 275 €/t Papier zu Testliner 2: 295 €/t Papier).

Danksagung

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. IW 050273 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.

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Tobias Brenner
Tel. 03529 / 551-624
Tobias.Brenner@ptspaper.de

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

e-Mail: info@ptspaper.de
www.ptspaper.de

Glosar

Akz	Akzept
AP	Altpapiermodellstoff
CMC	Carboxylmethylcellulose
E_i	Trennrate
ECF	elementarchlorfrei
HW	Kurzfasierzellstoff (Hardwood)
kmU	klein- und mittelständisches Unternehmen
μ	Stoffkomponente
NZ	Nadelholzzellstoff
PTS	Papiertechnische Stiftung
Rej	Rejekt
RRM	massenbezogene Rejektrate
RRV	volumenbezogene Rejektrate
Q	Volumenstrom
Q_i	Screening Quotient
SD	Stoffdichte
SCT	Streifenstauchwiderstand
T	Temperatur
U	Umfangsgeschwindigkeit des Rotors

Literaturverzeichnis

- 1 N.N.
Papier 2007 – Ein Leistungsbericht
Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (Hrsg.), (2007)
- 2 Norman B.G., Moller K., Ek R. und G.G. Duffy
Hydrodynamics of Papermaking Fibres in Water Suspension Fibre-Water Interactions in Paper-Making, Vol. 1
Tagungsbericht Symposium in Oxford, Sept. 1977, Nr. 182Tab3/1; S. 195 (55S.)
- 3 Strauß, J.
Trennprozesse bei der Faserstoffaufbereitung: Sortieren und Zentrifugalreinigen von Faserstoffen
PTS-Manuskript PE 531, Einführung in die Papiererzeugung (Modul 1), (2005)

- 4 Borschke, D.
Screening and Fractionation – known techniques with new perspectives
PTS-Symposium, Pulp technology, Dresden, (1999)
- 5 Frederikson, B.
High consistency screening proves itself in recycling mills – efficient and economic
Paper Technology, 35 – 40, Mai 1995
- 6 Davydenko E.
Beitrag zur Modellierung des Flockungsverhaltens von Faserstoffsuspensionen geringer
Konzentration in der turbulenten Strömung
Dissertation an der Fakultät für Maschinenwesen der TU Dresden, (1994)
- 7 Gottstein M.
Fördern von Feststoff-Flüssigkeits-Gemischen, speziell von Faserstoffsuspensionen
Wochenblatt für Papierfabrikation 109, 239 – 244 (1981), Nr. 8
- 8 Paul S.T., Duffy G.G. und X.D. Chen
Viscosity control as a new way to improve pressure screen performance
Tappi Journal 83, 61 (2000), Nr. 9
- 9 N.N., Bedienungsanleitung IKA VISC – Messrührer-System MR-A 0.5, (1991)
- 10 Lipponen, J.
Fortschrittliche Lösungen für Sortier-Prozesse
Wochenblatt für Papierfabrikation, 944 - 948 (2004), Nr. 16
- 11 Bienert, C., Cordier, O., Kappen, J.
Reduzierung von Faserstoffverlusten und Einsparung von Entsorgungskosten durch Optimierung
der Aufbereitung von Altpapier für die Erzeugung von graphischen Papieren mittels
Prozesssimulation
PTS Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF 13 355; (2004)
- 12 N.N., Bedienungsanleitung Rheometer RC20, (2002)
- 13 Dalpke, B., Kerekes, R.J.
The Influence of fibre properties on the apparent yield stress of flocculated pulp suspensions
Journal of Pulp and Paper Science 31, 39 – 43 (2005), Nr. 11
- 14 Vogt, M.
Stoffaufbereitungskonzepte für schnellaufende Wellpapperohrpapier-Maschinen
Wochenblatt für Papierfabrikation, 190 - 194 (2004), Nr. 5
- 15 Aregger, H.J., Hert, E., Sket, P., Janisch, K.P.
Fraktionierung in Deinkinganlagen – ein neuer Weg in der Altpapieraufbereitung
Wochenblatt für Papierfabrikation, 853 - 858 (2006), Nr. 14-15