

Titel

Entwicklung eines fraktionierenden Verfahrens zum Wiedereinsatz von Faserreststoffen in mehrlagigen Verpackungspapieren und Karton

Ch. Bienert, O. Cordier, L. Hamann, J. Kappen

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Abstract	2
3	Einleitung	4
4	Versuchsdurchführung	5
5	Zusammensetzung von Flotaten	6
6	Trennung von Flotaten	9
7	Bewertung der Wiedereinsatzbarkeit von unbehandelten und behandelten Flotaten	12
8	Störstoffproblematik	16
8.1	Flotale	16
8.2	Fraktionen	17
9	Verfahrensentwurf zur Aufarbeitung von Flotaten und Vergleich mit der direkten Rückführung	19
9.1	Bewertung unterschiedlicher Verfahrensschritte	19
9.2	Bewertung der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen zum Fertigstoff	21
9.3	Verfahrensauswahl zu Aufarbeitung von Flotaten	22
9.4	Vergleich mit der direkten Rückführung von Flotaten	23
10	Wirtschaftlichkeit einer Flotatrückführung	25

1 Zusammenfassung

Thema	Entwicklung eines fraktionierenden Verfahrens zum Wiedereinsatz von Faserreststoffen in mehrlagigen Verpackungspapieren und Karton.
Ziel des Projektes	Das Ziel dieses Forschungsprojekts der PTS München war die Entwicklung eines Verfahrens zur Rückführung des bei der Kreislaufwasserreinigung anfallenden Flotats in die Produktion von Verpackungspapieren. Außerdem war eine einfache Methode zur Bewertung der Wiedereinsatzbarkeit von Flotaten zu entwickeln.
Flotatanfall und Zusammensetzung	<p>Basis der Untersuchungen waren Anlagen zur Herstellung von mehrlagigen Kartons und Papieren. Der Flotatanfall beträgt in der Regel 1 bis 10 % der Produktionsmenge. Eine Entsorgung der Flotate erfolgt meistens mit den Faserreststoffen. In einigen Betrieben wird das Flotat wieder verwendet. Der Einsatz erfolgt vorwiegend vor der Stoffaufbereitung, so dass diese durch das Flotat zusätzlich belastet wird.</p> <p>Die Flotate bestehen zum größten Teil aus Fein- und Füllstoffen. Der Anteil von papiertechnisch verwertbaren Kurz- und Langfasern ist sehr gering. Die Flotate unterliegen insgesamt starken Schwankungen hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung.</p>
Einfluss der Flotate auf Entwässerung und Festigkeit	Die Zumischung von bis zu 50 % Flotat zum Einlagenstoff führt zu deutlich verschlechterten Entwässerungseigenschaften. Bei Zumischungen von 10 % veränderten sich die Entwässerungsgeschwindigkeiten um 5 – 20 %. Damit deutet sich an, dass der Wiedereinsatz von Flotaten negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Papiererzeugungsprozesses haben kann. Durch die Flotatzumischung verändern sich die Festigkeiten und die optischen Eigenschaften in den Prüfblättern nur geringfügig. In den Flotaten enthaltene bindungsaktive Schleimstoffe führen in einzelnen Fällen zu einer Festigkeitssteigerung, d.h. die Produktqualität wird durch den Flotateinsatz nicht nachhaltig verschlechtert.
Störstoffe	Die Störstoffgehalte (z.B. PCD, Mikrostickys) sind in der Regel in den Flotaten nicht höher als in den Fertigstoffen. Durch die Flotatzugabe ist in diesem Bereich keine Verschlechterung zu erwarten. Eine Ausnahme bilden Makrostickys. In einzelnen Flotaten wurden gegenüber dem Fertigstoff deutlich erhöhte Beladungen festgestellt. Diese Flotate können dann erhebliche negative Auswirkungen auf die Runability der Papiermaschine haben.

Verfahren Die Aggregate Druckfilter, Schwerschmutzcleaner, Druckfilter und Sprühfiltration wurden einzeln und in Kombination hinsichtlich einer Eignung zur Vorbehandlung getestet. Der Wiedereinsatz einzelner Fraktionen der Stofftrennung zeigt im Vergleich zum Wiedereinsatz des unbehandelten Gesamtflotats keine wesentlichen Vorteile. So bringen insbesondere die Abscheidung von Asche und die Rückführung der Langfasern keine nennenswerten Vorteile.

Grundsätzlich stellt eine Rückführung von Flotaten eine wirtschaftlich und technologisch sinnvolle Lösung gegenüber einer externen Entsorgung dar. Hier ist insbesondere die Vorbehandlung der Flotate mit Cleaner und Drucksortierer zur Aufkonzentrierung der Langfasern und zur Abscheidung von Makrostickys zu nennen.

Danksagung Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. 1208/03 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) gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

2 Abstract

Theme Reuse of fibrous residues from dissolved air flotation in packaging paper mills.

Project objective The aim of the PTS Munich research project was to develop a process for returning to production the flotata that accumulates during circuit water treatment and to develop a simple method for evaluating the possible reuse of flotates.

Flotate amounts and composition The studies were based on facilities for producing multiply board and paper. As a rule, Flotate amounts to 1 to 10% of the productive output and is usually disposed of together with the fibrous residues. Some mills reuse the flotata, usually upstream of stock preparation, so that the stock is additionally polluted with this flotata.

For the most part, flotates consist of fines and fillers. The share of short and long fibres that can be put to use in paper technology is very small. Generally speaking, the composition of flotates is subject to great fluctuation.

Flotate impact on dewatering and strength values The admixture of as much as 50 % flotata to the middle ply pulp results in significantly poorer dewatering properties. The drainage rate changes by 5 – 20 % if only 10 % flotata is added. This indicates that the reuse of flotates may have a negative impact on the cost effectiveness and economic viability of the papermaking process. Admixing flotates alter the strength values and optical properties in handsheets only slightly. Fibrils contained in the flotates cause an increase in strength in some isolated cases, i.e. the use of flotates does not have a lasting impact on product quality.

Contaminant loading

The contaminant loading in the flotates (e.g. PCD, micro stickies) is normally not higher than that of the finished stock. The flotate admixture cannot be expected to cause deterioration in this case except for macro stickies. Pollution loads that were significantly higher than the finished stock were discovered in isolated flotates. Such flotates then have quite a negative impact on the runnability of the paper machine.

Processes

The processes pressure screens, pressure filters, heavyweight cleaners and spray filters were tested individually and in combination to determine their pretreatment suitability. The reuse of individual fractions of the separated stock does not show any substantial advantages when compared with the reuse of the entire untreated flotate. The separation of ash and recirculation of long fibres in particular do not give rise to any appreciable advantages.

The recirculation of flotates is invariably an economical and technologically meaningful solution compared with the external disposal of flotates. The flotates should be pre-treated using cleaners and pressure screens on a case-to-case basis to increase the concentration of long fibres and to separate out macro stickies. Alternative methods are possible and will be presented below.

Acknowledgement

The results presented in this report were obtained within the scope of research project No. 1208/03 funded by the Federal Ministry of Economics and Technology 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 Einleitung

Entwicklung

Das in den letzten Jahrzehnten zu verzeichnende erhöhte Umweltbewusstsein sowie ökonomische Erwägungen haben in der Papierindustrie zu wesentlichen Änderungen in der Produktionstechnologie geführt. Diese betreffen insbesondere die Reduzierung der spezifischen Abwassermenge durch Einengung der Wasserkreisläufe, die Steigerung der Altpapiereinsatzquote, die zunehmende Veredelung der Papiere (z.B. durch Streichen), die Erhöhung der Papiermaschinengeschwindigkeit und den vermehrten Einsatz von Additiven im Produktionsprozess.

Gleichzeitig hat sich die Altpapierqualität immer weiter verschlechtert. Aufgrund der z.T. sehr hohen Preise und der schlechten Verfügbarkeit einzelner Sorten muss häufig auf schlechtere Sorten ausgewichen werden.

Die gleichzeitige Steigerung der Anforderungen an Produktqualität und Produktivität einerseits und die schlechtere Rohstoffqualität andererseits erfordern unter diesen Randbedingungen die Entwicklung immer neuer Verfahren zur produktverträglichen Vermeidung von Reststoffen.

Kreislaufwasserreinigung

Bei der Erreichung dieser Zielstellungen kommt der selektiven Ausschleusung von Störstoffen ein hoher Stellenwert zu. Ein wichtiger Prozessbaustein zur Reduzierung der Kreislaufbelastung ist die interne Kreislaufwasserreinigungsanlage. Der Zulauf dieser Anlagen besteht im Allgemeinen überwiegend aus Siebwasser-II-Überschusswasser, welches mit Fein- und Füllstoffen sowie Störstoffen angereichert ist. Zur Unterstützung der Abtrennung dieser Substanzen werden in den Flotationsstoffängern geeignete Flockungsmittel eingesetzt. Das anfallende Flotat besteht aus Faserstoff, Füllstoff, Feinstoff sowie den für die Papiererzeugung hochproblematischen Makro- und Mikrostickys [1], [2], [3].

Entsorgung

Die Entsorgung der in diesen Anlagen anfallenden Stofffängerflotate ist einerseits durch thermische Verwertung und andererseits durch externe Verwertung möglich. Dabei fallen entsprechende Kosten an. Derzeit sind für die externe Verwertung pro Tonne ca. 50 - 100 EUR zu entrichten. Dies bedeutet eine Belastung des Produktes Papier mit zusätzlichen Kosten von ca. 3,5 – 7 EUR/t.

Integrierte Nutzung

Die integrierte Nutzung der Flotate spielt insbesondere für kleinere und mittlere Unternehmen eine wesentliche Rolle. Ihnen sind andere Wege in der Regel verschlossen, da eine geeignete betriebseigene Verbrennungsanlage fehlt und eine externe Verwertung des Flotatstoffs für viele dieser Unternehmen aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist.

Eine Rückführung der Flotate in den einzelnen Papier- und Kartonfabriken erfolgt generell empirisch. In Abhängigkeit von vorhandenen Erfahrungen oder technischen Möglichkeiten werden die Flotate entweder einem Pulper der Stoffaufbereitung (z.B. Ausschuss- oder Einlagepulper) zugesetzt oder der Maschinenstoffsuspension kurz vor dem Stoffauflauf zugeführt, um die Wirksamkeit vorhandener Flockungsmittel nutzen zu können.

Folgen

Fazit der Probleme einer integrierten Nutzung der Flotate kann einerseits eine drastische Verschlechterung der Produktivität sein. Die Anzahl der Abrisse steigt bei zunehmendem Flotateinsatz. Die Entwässerung und damit die Maschinengeschwindigkeit sinken. Andererseits ergeben sich bei der Produktion hochwertiger mehrlagiger Kartons, z.B. durch den erhöhten Feinstoffanteil, Qualitätsprobleme durch ungenügende Planlage und eine schlechtere Dimensionsstabilität.

Aufgrund der Probleme wird deutlich, dass weder die externe Entsorgung noch die derzeit häufig betriebene vollständige Rückführung der Flotate einen nachhaltigen und für die Papierindustrie auch in Zukunft noch gangbaren Weg darstellen. Eine Alternative könnte eine nicht vollständige Rückführung der Flotate bzw. eine Rückführung bestimmter Flotateanteile sein.

Forschungsziel

Zur Klärung der offenen Fragestellungen wurde ein Forschungsprojekt durchgeführt, bei dem eine Methode zur Bewertung des Wiedereinsatzes von Flotaten in der Produktion und ein Verfahren zur Rückführung der bei der Kreislaufwasserreinigung anfallenden (Faser-) Reststoffe (Flotate) in die Produktion entwickelt wurde. Das Verfahren bezieht sich dabei sowohl auf die fraktionierte Abscheidung der Reststoffe als auch auf deren gezielten Wiedereinsatz in einzelnen Lagen bei der Erzeugung von mehrlagigen Papieren und Kartons.

4 Versuchsdurchführung

Einflussgrößen

Zur Charakterisierung von Stoff-, Flotate- und Kreislaufwasserproben sowie zur Bewertung der Zumischversuche und des Störstoffpotenzials der Flotate wurde ein Untersuchungsprogramm entwickelt, das folgende Eigenschaften und Einflussgrößen berücksichtigt:

- A Stoffzusammensetzung
 - B Entwässerungseigenschaften
 - C Festigkeitseigenschaften
 - D Optische Eigenschaften
 - E Belastung mit Störstoffen
-

Zumischversuche

Um den Einfluss unterschiedlicher Flotate und deren Fraktionen auf die Eigenschaften des Papiers (Festigkeiten und optische Eigenschaften) sowie die Entwässerungseigenschaften zu bestimmen, wurden Zumischversuche durchgeführt. Um einen direkten Vergleich zum Fertigstoff zu erhalten, wurde zuerst dieser untersucht. Anschließend wurden unterschiedlich große Mengen an Flotat bzw. an Lang- oder Kurzfaserverfraktion zum Fertigstoff zugemischt und die Parameter für alle relevanten Eigenschaftsgruppen bestimmt.

Tab. 1 Zumischversuche

	Zumischung in %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Einlagestoff	100	95	90	80	50	90	80	90	80
Gesamtflotat		5	10	20	50				
Langfaserstoff						10	20		
Kurzfaserverstoff								10	20

5 Zusammensetzung von Flotaten**Vorgehen**

Der erste wesentliche Schritt zur Beurteilung eines Einsatzes von Flotaten in der Produktion ist die genaue Kenntnis der Zusammensetzung dieser Stoffe. Aus diesem Grunde wurden die Flotate hinsichtlich der Stoffzusammensetzung untersucht.

Papierfabriken

Auf der Basis verfügbarer Umfragedaten wurden für die Durchführung des Projekts geeignete Stofffängerflotate aus fünf Papierfabriken ausgewählt, die zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mehrlagige Kartons und Papiere herstellen. Darüber hinaus wurden zu Vergleichszwecken die Daten von zwei Papierfabriken berücksichtigt, die Zeitungsdruckpapier vorwiegend aus unteren Altpapiersorten erzeugen. **Tab. 2** zeigt eine Übersicht der ausgewählten Papierfabriken.

Tab. 2 Papierfabriken

Fabrik	Produktion	Flotat (Herkunft)	Stoff (Herkunft)
A	Karton	Kreislaufwasser	Einlage
B	Karton	Kreislaufwasser	Einlage
C	Wellpappenrohpapier	Kreislaufwasser	Einlage
D	Karton	Kreislaufwasser	Einlage
E	Karton	Kreislaufwasser	Einlage
F	Zeitungsdruckpapier	Loop1, Loop2	
G	Zeitungsdruckpapier	Loop1, Loop2	

Stoffliche Zusammensetzung

Die Ergebnisse der Haindl-McNett-Fraktionierung und der Bestimmung des Aschegehaltes wurden zu einer stofflichen Charakterisierung der Flotale zusammengefasst. Der Rückstand Schlitzplatte 0,15 mm entspricht den Verunreinigungen in einer Probe. R30 bis R200 sind die Siebrückstände der Haindl-McNett-Fraktionierung. Dabei wird R30 als der Langfaseranteil einer Probe angesehen. Der Durchgang durch das letzte Sieb der Haindl-McNett-Fraktionierung (D200) kann in organische und anorganische Feinstoffe unterteilt werden, wobei der Aschegehalt der Probe den anorganischen Feinstoffen gleichgesetzt wird.

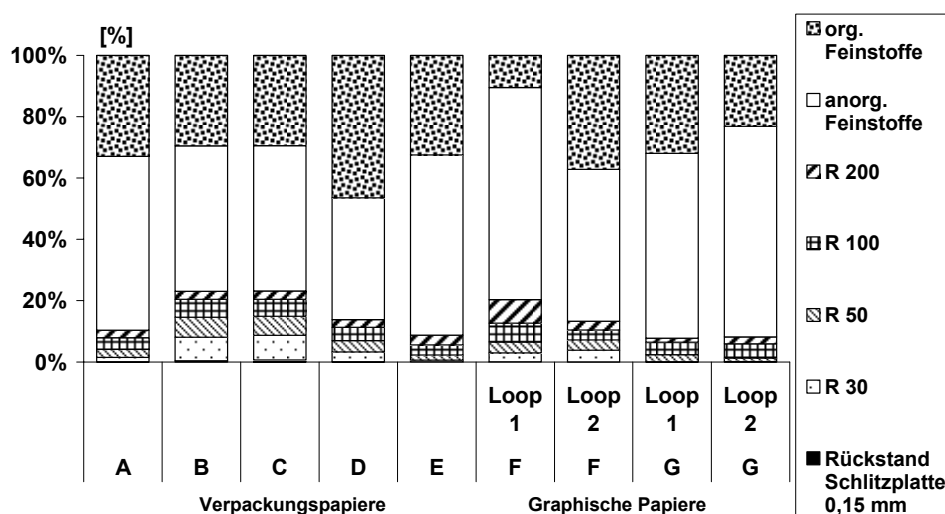


Abb. 1 Stoffliche Zusammensetzung von Flotaten

Bewertung

Die Flotatproben enthalten ca. 70 bis 90 % Fein- und Füllstoffe. Entgegen den Erwartungen bestehen nur 10 – 30 % der Gesamtmasse der Flotale aus Faserstoffen. Der für die Festigkeiten relevante Langfaseranteil (Fraktion R30) beträgt dabei maximal 10 %.

Die Messungen der Glühverluste ergaben Aschegehalte von 40 bis 70 %. Die Zusammensetzung der Flotale kann nicht nur zwischen den einzelnen Papierfabriken sehr unterschiedlich sein, sondern auch innerhalb einer Papierfabrik stark variieren. Die bei der Herstellung von grafischen Papieren anfallenden Flotale sind hinsichtlich der Stoffzusammensetzung mit denen der Kartonerzeuger vergleichbar.

Da der größte Teil der Flotale somit aus Feinstoffen besteht, ist es von besonderer Bedeutung, diesen Anteil näher zu charakterisieren. Von besonderem Interesse ist die feinste Fraktion (D200). Diese kann in organische und anorganische Feinstoffe unterteilt werden. Einzelne Flotale haben einen hohen Anteil an organischem Feinstoff. Dieser besteht vor allem aus Schleim- und Mehlstoff. Der Schleimstoff wirkt sich positiv auf die statischen und dynamischen Festigkeiten des Papierblattes aus, während der Mehlstoff das Entwässerungsverhalten negativ beeinflusst.

Sedimentationsverhalten

Die Messung des Sedimentationsverhaltens der Feinstofffraktion gibt einen Hinweis darauf, wie viel Schleimstoff in den Proben enthalten ist. Schleimstoff sedimentiert deutlich langsamer als Mehlstoff. Dies zeigt sich bei der Sedimentationsanalyse in einem langsameren Abfall der Kurve.

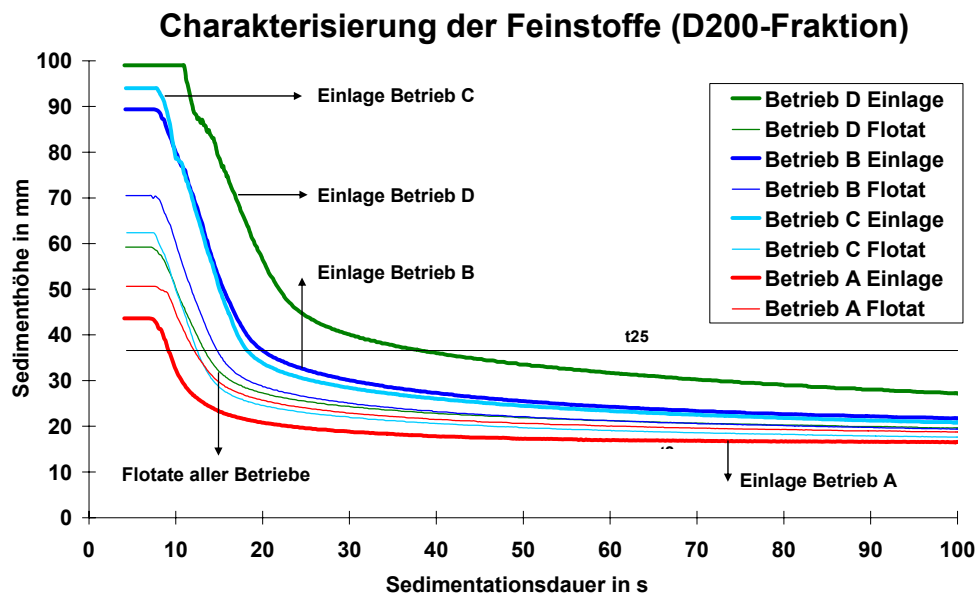


Abb. 2 Sedimentationsverhalten der Feinstoffe in Flotaten und Einlagestoffen

Alle untersuchten Flotatproben weisen ein sehr ähnliches Sedimentationsverhalten auf. Die Werte lagen dabei unterhalb derer vom Einlagenstoff. Lediglich in Papierfabrik A war der Schleimstoffgehalt im Einlagenstoff geringer als im Flotat. Dieses Ergebnis wird sich auf die Festigkeiten niederschlagen.

6 Trennung von Flotaten

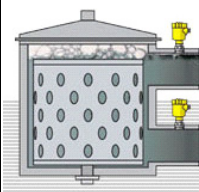
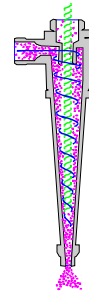
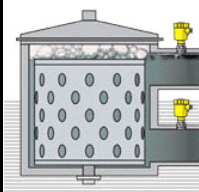
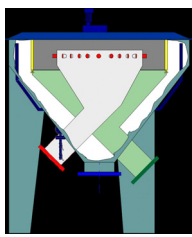
Auswahl

Auf der Basis einer Literaturrecherche wurden die möglichen Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung zur Auftrennung von Flotaten und zur Anreicherung von Langfaserstoffen ausgewertet. Gespräche mit Anlagenherstellern und -betreibern wurden bei diesen Auswertungen ebenfalls berücksichtigt. Dabei ergab sich eine Vorauswahl von möglichen Trennaggregaten, die hinsichtlich ihrer Eignung im Rahmen von einfachen Vorversuchen überprüft wurden [4, 5, 6, 7, 8].

Aggregate

Auf der Basis der Vorversuche sowie der Empfehlungen von Anlagenherstellern und -betreibern wurden folgende Aggregate für die Trennversuche ausgewählt.

Tab. 3 Eingesetzte Aggregate bei den Trennversuchen

	Druck- sortierer	Cleaner	Druckfilter	Sprüh- filtration
				
Trenn- kriterium	Schlitz	Zentrifugal- kraft	Loch	Maschen
Schlitz-/ Lochweite	0,12 mm 0,15 mm 0,25 mm		0,06 mm	0,15 mm 0,3 mm
Stoffdichte Zulauf	1 % 1,8 % 6 %	1 %	0,8 %	ca. 1,4 % ca. 5,6 %
Zulauf	270 - 350 l/min	300 l/min	350 l/min	80 - 167 l/min
Rejektrate	10 % 20 % 50 % (70 %)	2,5 %	50 %	50 - 70 %

Einstellungen Versuchsreihen

Im PTS-Technikum und in zwei Papierfabriken wurden Trennversuche in verschiedenen Versuchsreihen durchgeführt. Es erfolgte eine systematische Variation der Einstellungen bei den durchgeführten Versuchsreihen.

Tab. 4 Versuchsreihen

Versuchsreihe	Trennschritt				Zulaufstoffdichte	RW
	Cleaner	Drucksortierer	Druckfilter	Sprühfiltration		
		Schlitz (//)	Loch (Ø)	Maschenweite (#)		
		mm	mm	mm	%	%
V1		0,25			1,8 - 6,2	10 - 70
V2	X				1,8	2,5
V3		0,25			1	10 - 50
V4		0,15			1	10 - 50
V5		0,12			1	10 - 50
V6			0,06		1	50
V7				0,15	5,6	80
V8				0,3	5,6	70
V9				0,3	1,4	70
V10				0,15	1,4	35 - 70

Fraktionen

Alle eingesetzten Trennaggregate weisen zwei Ausgänge auf. Folgende Tabelle zeigt die in dieser Veröffentlichung verwendeten Bezeichnungen der Fraktionen.

Tab. 5 Bezeichnungen der Fraktionen

	Fraktion 1	Fraktion 2
	Langfaserstofffraktion	Kurzfaserstofffraktion
	LF	KF
Drucksortierer	Rejekt	Akzept
Cleaner (Schwerschmutz)	Akzept	Schwerschmutz
Druckfilter	Rejekt	Akzept
Sprühfiltration	Rejekt	Akzept

Die Gesamtflotale wurden als F1 bis F5 bezeichnet, die für die Zumischversuche eingesetzten Einlagestoffe als E1 bis E3.

R_w

In dieser Veröffentlichung wird das Verhältnis der Gesamtfeststoffmassenströme von Fraktion 1 zum Zulauf als R_w bezeichnet.

$$R_w = \frac{\dot{m}_{s,R}}{\dot{m}_{s,I}} \quad \text{mit}$$

R_w = Überlauftrate, massenbezogene Rejektrate

$\dot{m}_{s,R}$ = Gesamtfeststoffmassenstrom Fraktion 1

$\dot{m}_{s,I}$ = Gesamtfeststoffmassenstrom Zulauf

Beste Ergebnisse **Abb. 3** zeigt eine Zusammenstellung der interessantesten Fraktionen, die mit den Trennversuchen V1 bis V10 gewonnen werden konnten.

Der Langfaseranteil konnte durch geeignete Verfahren deutlich gesteigert werden. In LF14 war er sogar höher als im Einlagenstoff. Auch wenn diese Fraktion einen hohen Anteil an organischen Feinstoffen aufweist, ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei mit großer Wahrscheinlichkeit um Mehlstoff handelt, da Schleimstoff in erster Linie in der Kurzfaserfraktion angereichert wird.

Dieser Effekt wird bei LF3 eindeutig bestätigt. Hier weist die Langfaserfraktion einen doppelt so hohen organischen Feinstoffgehalt im Vergleich zum Fertigstoff auf. Die Sedimentationsuntersuchungen (siehe **Abb. 4**) hingegen weisen darauf hin, dass in dieser Fraktion der Anteil an Schleimstoffen vergleichbar mit dem des Fertigstoffes ist.

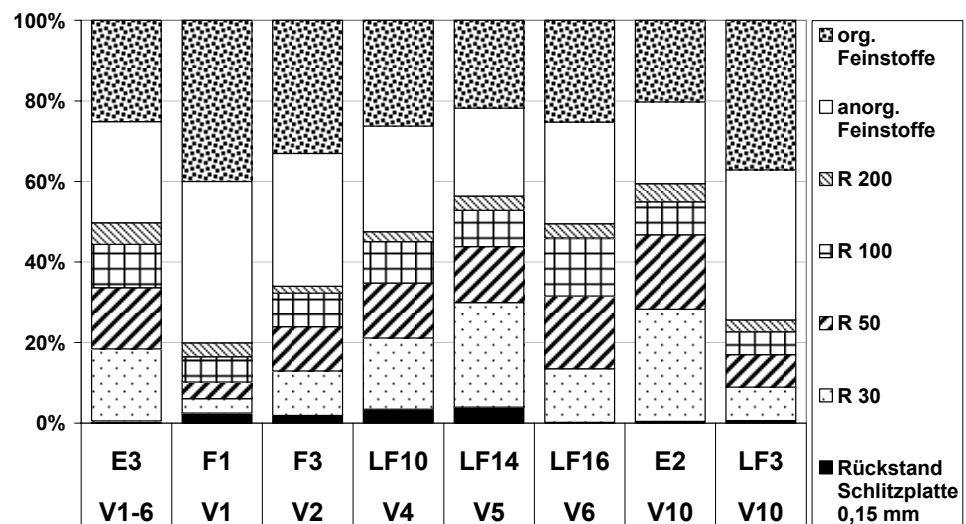


Abb. 3 Zusammensetzung der interessantesten Flotate und Fraktionen aus den verschiedenen Trennversuchsreihen

Feinstoffe

Bei einigen Versuchsreihen konnten neben der Stoffcharakterisierung auch die Feinstoffe mittels der Sedimentationsanalyse näher charakterisiert werden.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Anreicherung der Schleimstoffe in den Kurzfaserfraktionen, da eine langsamere Sedimentation zu einem höheren t_{25} -Wert führt. Dies bedeutet auch, dass in den Langfaserfraktionen weniger Schleimstoffe als im Gesamtflotat enthalten sind.

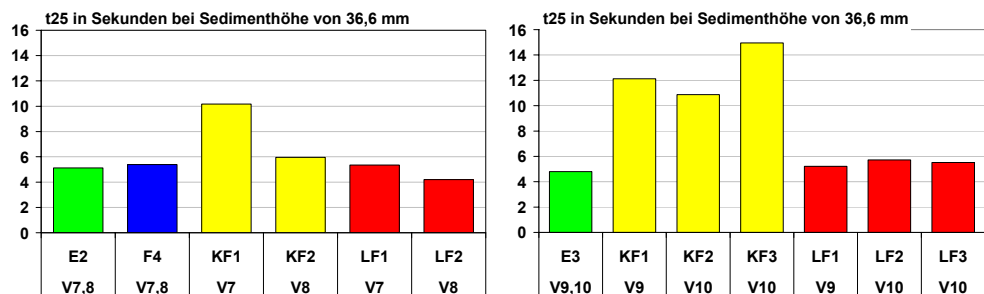


Abb. 4 Sedimentationsverhalten der Feinstoffe in den Flotaten, in deren Fraktionen und in den Einlagestoffen bei den Versuchsreihen 7 bis 10

7 Bewertung der Wiedereinsatzbarkeit von unbehandelten und behandelten Flotaten

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden Flotote aus 4 unterschiedlichen Papierfabriken den Einlagestoffen der entsprechenden Betriebe in unterschiedlichen Mengen zugemischt. Die Ergebnisse dieser Zumischversuche sind im Folgenden auf der linken Seite jeweils dargestellt.

Im zweiten Schritt wurden die Flotote und Fraktionen, die bei den Trennversuchen 1 bis 6 abgetrennt und für die Zumischversuche ausgewählt wurden, in unterschiedlichen Mengen dem Einlagstoff E1 der Papierfabrik A zugemischt.

Entwässerungseigenschaften

Zur Charakterisierung der Entwässerung ist in den Abbildungen diejenige Filtratmenge aufgetragen, die nach 10 Sekunden durch ein Maschinensieb im freien Fall abfiltriert worden ist.

Die Messungen ergaben, dass mit steigender Flotatzugabe die Entwässerbarkeit schlechter wird. Dabei waren in allen vier Papierfabriken die gleichen Trends zu beobachten. Durch eine Flotatzumischung von 20 % bezogen auf den Einlagenstoff reduziert sich die Entwässerbarkeit je nach Betrieb um 17 bis 26 %.

Aufgrund des hohen Anteils an groben Verunreinigungen führte eine Zugabe des Flotats F1 aus der Versuchsreihe 1 zu einer gleich bleibenden Entwässerbarkeit. Da in den daraus abgeleiteten Fraktionen geringere Mengen an Verunreinigungen enthalten waren, weisen alle weiteren Zumischungen eine schlechtere Entwässerbarkeit als das unbehandelte Flotat auf. Dies heißt, eine Fraktionierung führt zu einer Verschlechterung der Entwässerbarkeit.

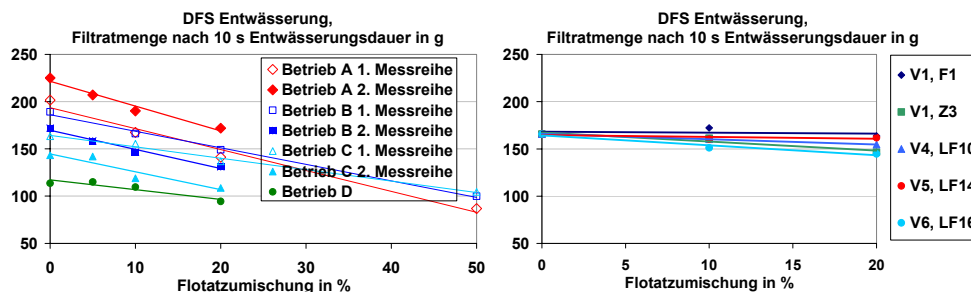


Abb. 5 Einfluss der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen auf das Entwässerungsverhalten

Wasserrückhaltevermögen

Im Durchschnitt verändert eine Flotatzugabe das Wasserrückhaltevermögen nicht signifikant. Aufgrund eines hohen Aschegehaltes (Flotat Betrieb B, unbehandeltes Flotat F1 aus Versuchsreihe 1) kann das Wasserrückhaltevermögen sogar leicht verbessert werden, d.h., es wird weniger Wasser durch den Stoff zurückgehalten. LF16 weist hingegen einen niedrigen Aschegehalt, aber hohen Feinstoffgehalt auf. Dies führt zu einer Verschlechterung des Wasserrückhaltevermögens. Im Anhang sind die Korrelationen zwischen WRV und Asche getrennt nach Einlagestoffen und Flotaten dargestellt.

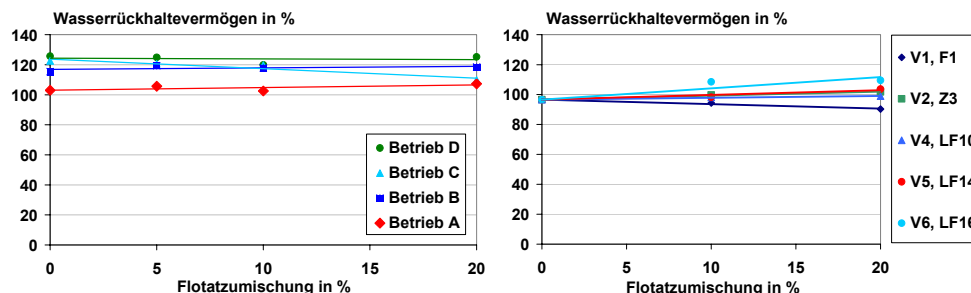


Abb. 6 Einfluss der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen auf das Wasserrückhaltevermögen

Festigkeiten

Durch eine Flotatzumischung nimmt die Bruchkraft in der Regel geringfügig ab. Nur beim Flotat des Betriebs A und einigen Langfaserfraktionen (Z3, LF14, LF16) war keine Verschlechterung dieser Festigkeit bei Flotatzugabe zu verzeichnen, da hier weniger Verunreinigungen in den Proben waren. Vergleichbare Trends zeigte auch die Messung des Flachstauchwiderstands.

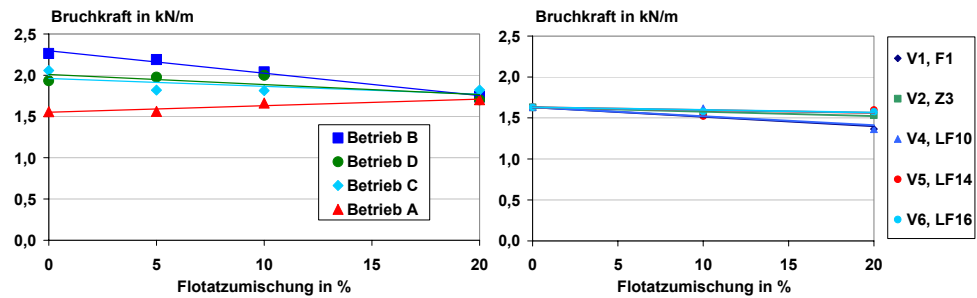


Abb. 7 Einfluss der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen auf die Bruchkraft

Durch die Flotatzumischung fand keine signifikante Änderung der Bruchdehnung statt. Dies war auch bei weiteren Festigkeitseigenschaften zu beobachten.

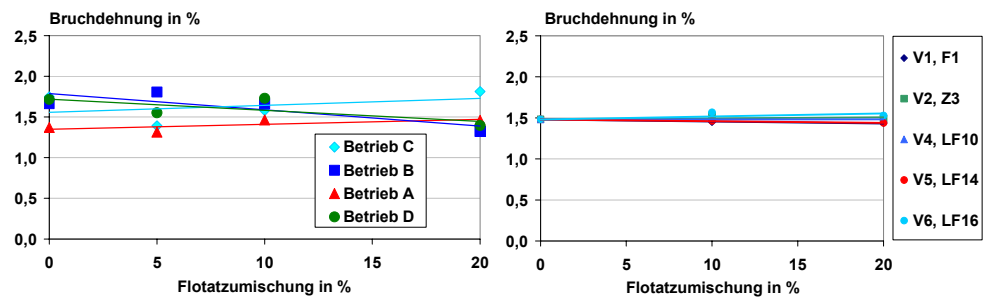


Abb. 8 Einfluss der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen auf die Bruchdehnung

Optische Eigenschaften

Je nach Helligkeit des Flotats, veränderte sich der Weißgrad linear mit der Flotatzumischung. Bei den Trennversuchen V1 – V6 konnte keine signifikante Änderung des Weißgrads verzeichnet werden.

Sowohl die Anzahl als auch die Fläche der Schmutzpunkte verringerte sich mit steigender Flotatzugabe bei allen 4 untersuchten Papierfabriken. Bei den Langfaserfraktionen waren keine signifikanten Änderungen der Schmutzpunktbelastung zu beobachten. Nur beim ungereinigten Flotat der Trennversuchsreihen stieg der Gehalt an Schmutzpunkten an, da in diesem Flotat ein überdurchschnittlich hoher Gehalt an Verunreinigungen vorhanden war.

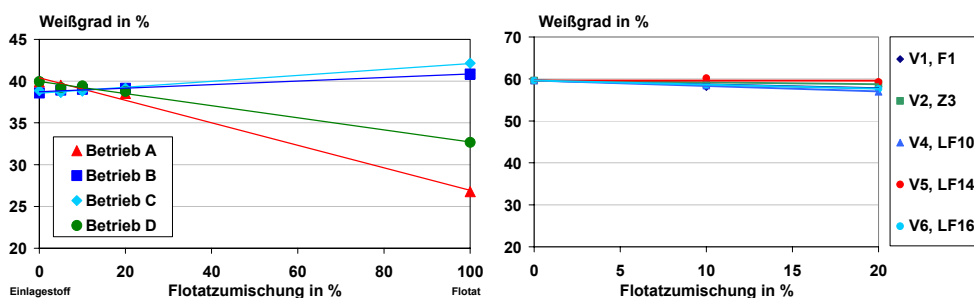


Abb. 9 Einfluss der Zumischung von Flotaten auf den Weißgrad

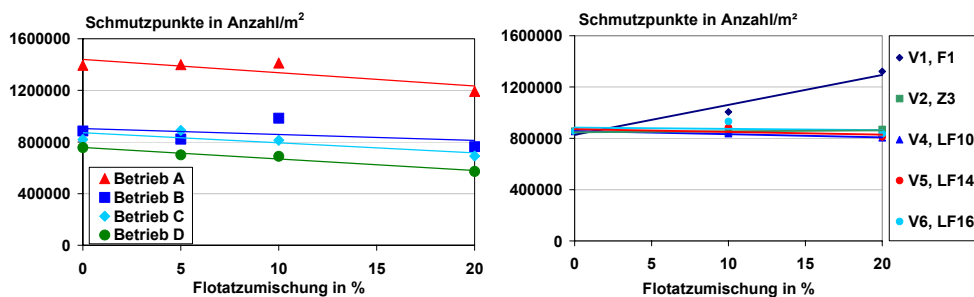


Abb. 10 Einfluss der Zumischung von Flotaten auf die Anzahl der Schmutzpunkte

8 Störstoffproblematik

8.1 Flotate

Vorgehen	<p>Da bei der Kreislaufwasserreinigung zahlreiche Stoffe in den Flotaten abgetrennt werden, besteht der Verdacht, dass bei einer Rückführung in die Produktion auch nennenswerte Mengen an Störstoffen zurückgeführt werden. Um diesen Einfluss näher zu untersuchen, wurden die Flotate der vier Papierfabriken auf folgende Parameter hin untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none">• Elektrische Leitfähigkeit• CSB• Ladungspotenzial (PCD)• Zetapotenzial• Makrosticky-Gehalt• Mikrosticky-Gehalt (DMF-Extrakt) <p>Da das Niveau der einzelnen Störstoffe in jeder Papierfabrik sehr unterschiedlich sein kann, müssen die so ermittelten Werte immer mit den Fertigstoffen verglichen werden, zu denen ein Flotat bei einer Rückführung zugemischt werden soll.</p>
Elektrische Leitfähigkeit	<p>Einen ersten Hinweis auf den Gehalt an Störstoffen lieferten die Messungen der Leitfähigkeit. Dabei waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einlagestoffen und den Flotaten zu beobachten.</p>
CSB	<p>Die Messung des CSB-Wertes an den abfiltrierten Proben ergab bei allen Betrieben deutlich niedrigere Werte in den Flotaten als in den Einlagestoffen.</p>
PCD	<p>Auch bei der Bestimmung des Ladungshaushaltes zeigten sich bei allen Betrieben deutlich niedrigere Werte in den Flotaten als in den Einlagestoffen.</p>
Zeta-Potenzial	<p>Die Zugabe von Flotaten kann das Zetapotenzial zu etwas höheren und damit neutraleren Werten führen. Eine derartige Verschlechterung des Zetapotenzials in Fertigstoffen dürfte allerdings nur in denjenigen Betrieben stärkere Auswirkungen haben, die ohnehin ein instabiles System aufweisen.</p>
Mikrostickys	<p>Flotate weisen in der Regel höhere Mikrosticky-Beladungen auf als die Fertigstoffe, zu denen sie zugemischt werden könnten. Dies wird durch den DMF-Extrakt gekennzeichnet.</p> <p>Aus Mikrostickys können im Laufe des Prozesses durch Agglomeration Makrostickys entstehen. Makrostickys sind vor allem für die Ablagerungen an der Papiermaschine verantwortlich. Aus diesem Grunde ist dem Störstoff Mikrostickys eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken.</p>

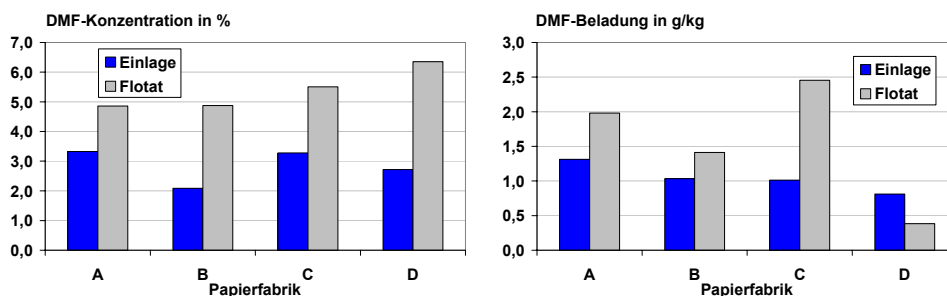


Abb. 11 Mikrostickys in Flotaten und Einlagestoffen

Makrostickys

Alle untersuchten Flotäte wiesen eine vergleichbare Beladung an Makrostickys auf. Große Unterschiede bestehen zwischen den Fertigstoffen, denen die Flotäte zugemischt werden könnten. So sind in den Flotäten der Betriebe A und D signifikant geringere Makrostickygehalte zu verzeichnen als in den Einlagestoffen. Dabei tragen Makrostickys mit einer Größe zwischen 500 und 2000 μm am stärksten zur Stickyfläche bei.

In den Betrieben B und C liegen die meisten Stickys in einem höheren Größenbereich. Hier kann es auch zu einer Erhöhung der Makrostickyfracht in den Fertigstoffen kommen, wenn Flotäte zugemischt werden. Die Flotäte sind hier deutlich höher mit Makrostickys beladen als die Fertigstoffe (Abb. 12).

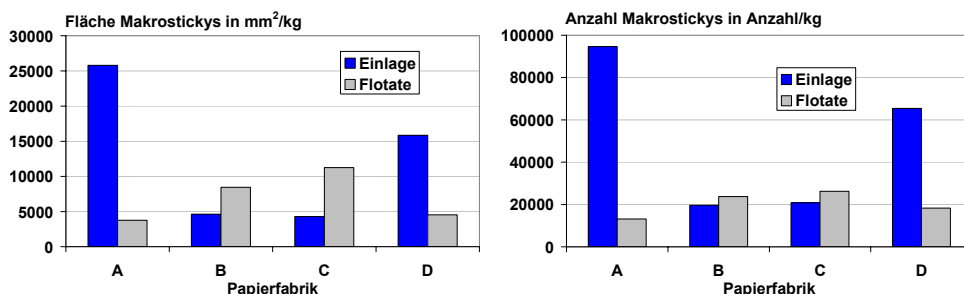


Abb. 12 Makrostickys in Flotaten und Einlagestoffen

8.2 Fraktionen

Makrostickys

Alle Trennversuchsreihen zeigten, dass sich Makrostickys in der Langfaserfraktion stark anreichern. Durch eine Cleanerung kann die Makrostickybelastung auf die Hälfte gesenkt werden.

In den Kurzfaserfraktionen sind hingegen nur sehr geringe Stickymengen zu finden. So ist auch der niedrige Stickygehalt in Probe LF16 zu erklären, da als Zulauf für diesen Trennversuch die Kurzfaserfraktion KF14 verwendet wurde.

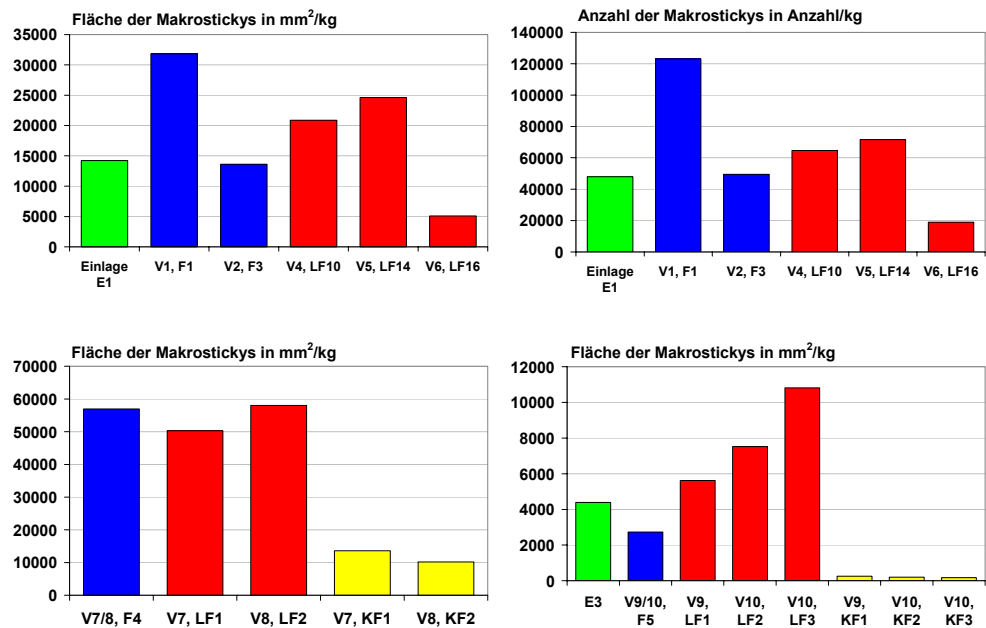


Abb. 13 Makrostickys in Flotaten, in deren Fraktionen und in Einlagestoffen

Mikrostickys

Bei den Untersuchungen fällt auf, dass das Flotat eine geringere Beladung an Mikrostickys aufweist als der Einlagenstoff. Darüber hinaus ist festzustellen, dass sich Mikrostickys in keiner der beiden Fraktionen angereichert haben.

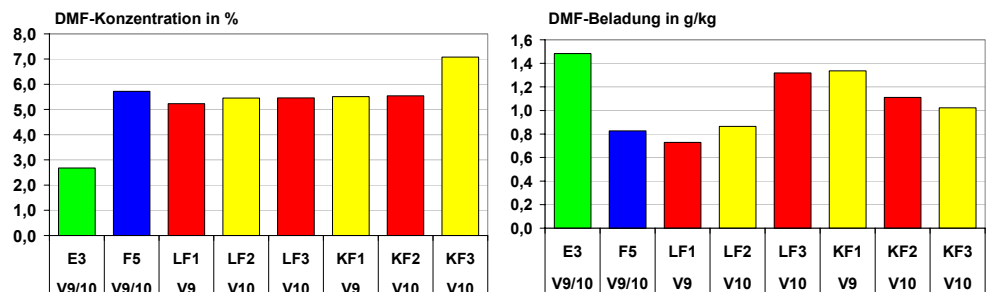


Abb. 14 Mikrostickys in Flotaten, deren Fraktionen und im Einlagestoff

PCD

Bei den Versuchsreihen 1 bis 6 war in der Regel keine Veränderung des Ladungshaushalts aufgrund der Trennvorgänge zu verzeichnen. Nur in KF16 wurde ein erhöhter Wert beobachtet, da hier ein hoher Feinstoffanteil vorlag.

Bei den Versuchsreihen 7 bis 10 wies das Flotat eine etwas geringere Ladung als der Einlagenstoff auf. Darüber hinaus ist festzustellen, dass sich der PCD-Wert in der Kurzfasernfraktion etwas anreichert.

9 Verfahrensentwurf zur Aufarbeitung von Flotaten und Vergleich mit der direkten Rückführung

9.1 Bewertung unterschiedlicher Verfahrensschritte

Bewertung Trennverfahren

Eine vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Trennverfahren hinsichtlich der Massenströme und der Auftrennung der einzelnen Stoffkomponenten kann anhand der Kenngrößen E_R und Q ¹ durchgeführt werden.

Eine wesentliche Kenngröße zur Beurteilung eines Trennverfahrens ist der Screening-Quotient Q , auch Nelson-Koeffizient genannt [9]. Er kann für jede Stoffkomponente (Asche, R30, org. FS u.a.) berechnet werden und ist ein Maß für die Trennleistung des Sortierers hinsichtlich der entsprechenden Stoffkomponente. Ein wesentlicher Vorteil dieses Kennwerts ist, dass dabei die Trennleistung unabhängig von der eingestellten Überlaufrate R_W beurteilt werden kann.

Wird eine Stoffkomponente in Fraktion 1 erwünscht (z.B. Langfasern R30, organische Feinstoffe) so sollte der Wert von Q für diese Komponente möglichst hoch sein. Gemäß der Formel kann ein maximaler Wert von 1 erreicht werden. Abzutrennende Stoffe, die in der Fraktion 2 angereichert werden sollten, sollten möglichst geringe Q -Werte aufweisen. Hierbei sind Screening-Quotienten von $\ll 1$ anzustreben.

Mit der Auftrennung von Flotaten sollten folgende Ziele erreicht werden:

- Anreicherung der Langfasern in Fraktion 1 (Q_{R30} möglichst hoch).
- Möglichst wenige Schleimstoffe sollten mit der Fraktion 2 abgetrennt werden. Da die Menge der Schleimstoffe nur indirekt mit einem hohen Aufwand ermittelt werden kann und eine Teilmenge des organischen Feinstoffs darstellt, besteht die Möglichkeit, als erstes einfaches Beurteilungskriterium die Abtrennung des organischen Feinstoffanteils zu bestimmen ($Q_{org.FS}$ möglichst hoch).
- Hohe Abtrennung von Asche (Q_{Asche} möglichst klein).

In **Abb. 15** ist deutlich zu sehen, dass die ersten beiden Ziele nur mit V2 (Cleaner) sehr gut erreicht werden können. Wenn man berücksichtigt, dass organische Feinstoffe in jedem Falle vorwiegend in der Fraktion 2 ausgetragen werden, so sollte dieser Verlust so gering wie möglich sein. Unter diesem Gesichtspunkt stellen V10 sowie V4 und V5 weitere interessante Alternativen dar.

Eine nennenswerte Abtrennung von Asche konnte nur mit V2 erreicht werden. Asche und organische Feinstoffe verhalten sich bei allen anderen Verfahren massenstromäquivalent, d.h. es erfolgt keine Anreicherung in einer der beiden Fraktionen

¹

$$E_R = \frac{R_W}{1 - Q + Q * R_W} \text{ mit}$$

R_W = Überlaufrate, massenbezogene Rejektrate

Q = Screening – Quotient (Nelson – Koeffizient)

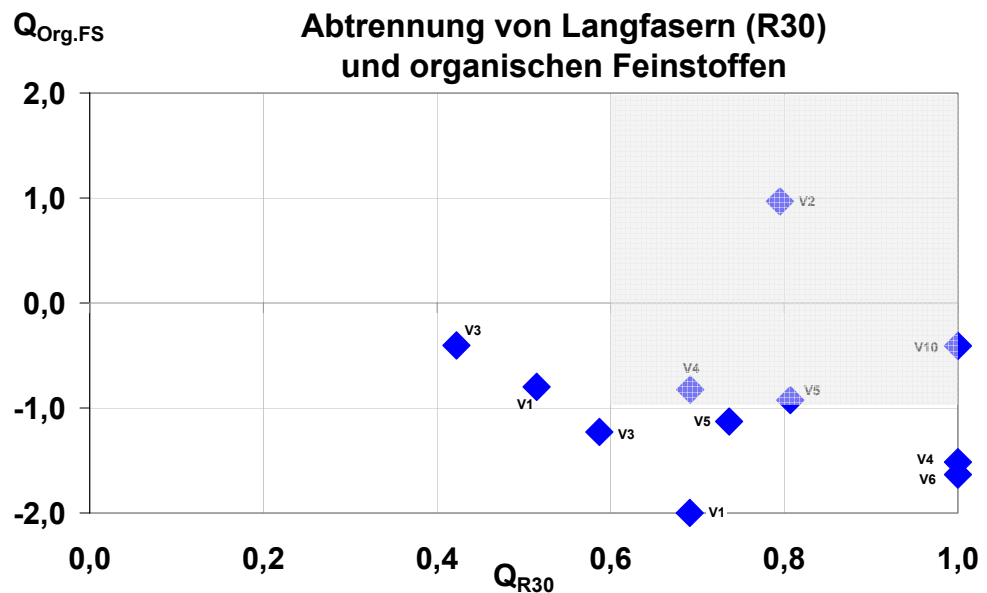


Abb. 15 Trennleistung von Langfasern und organischen Feinstoffen bei unterschiedlichen Verfahren

Anhand der Auswertungen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Abtrennung von Langfasern erst ab $R_W > 50\%$ sinnvoll.
- Asche wird in keiner Fraktion angereichert, der Aschestrom verhält sich entsprechend R_W .
- Organische Feinstoffe werden ebenfalls wie die Überlaufrate R_W aufgeteilt, bei niedrigen Überlaufraten gehen mehr organische Feinstoffe in die Kurzfaserverfraktion.

Auswirkungen

Nach der Auftrennung des Flotats in eine Langfaserstofffraktion und in eine Kurzfaserverstofffraktion können zusammenfassend folgende Trends hinsichtlich der Zusammensetzung und der Störstoffbelastung im Vergleich mit dem unbehandelten Flotat festgestellt werden:

Tab. 6 Auswirkungen der Auftrennung von Flotaten

		Vergleich Langfaserfraktion – unbehandeltes Flotat
Zusammensetzung	Langfasern	↑
	Asche	↓
	Schleimstoffe	↓
Störstoffe	PCD	0
	Makrostickys	↑
	Mikrostickys	0

Zusammenfassung

Anhand der Trennversuche mit den unterschiedlichen Aggregaten lassen sich die folgenden wesentlichen Trends ableiten:

Tab. 7 Auswirkungen einzelner Trennaggregate

Cleaner	Abtrennung von Makrostickys Abtrennung grober Verunreinigungen Abtrennung von Asche Anreicherung von organischen Feinstoffen in Fraktion 1
Drucksortierer	Anreicherung von Langfasern in Fraktion 1 Anreicherung von Stickys in Fraktion 1 (Langfaserstofffraktion)
Druckfilter	Rückgewinnung von Langfasern Nur niedrige Stoffdichten und hohe Überlaufraten möglich, da Filtermedium leicht zusetzt
Konustrenner	Anreicherung von Feinstoffen in Fraktion 1 Anreicherung von Stickys in Fraktion 1 (Langfaserstofffraktion)

9.2 Bewertung der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen zum Fertigstoff**Vorgehen**

Zur Bewertung der Zumischung von Flotaten und deren Fraktionen zum Fertigstoff wurden für jede Eigenschaftsgruppe repräsentative Parameter ausgewählt. Die Veränderung eines Parameters wurde in drei Stufen bewertet. Da die einzelnen Parameter eine unterschiedliche Bedeutung in den einzelnen Papierfabriken haben, wurde noch ein Prioritätsfaktor für jeden Parameter eingeführt. Dieser kann für jede Papierfabrik unterschiedlich gewählt werden, da sich die Hauptzielsetzungen in den einzelnen Papierfabriken unterscheiden können. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine Gewichtung ausgewählt, die repräsentativ für den größten Teil der Hersteller von Verpackungspapieren ist. Die Einzelbewertungen wurden zum Schluss zu einem Gesamtergebnis aufsummiert.

Ergebnis der vergleichenden Bewertung

Im Gesamtergebnis wird eine Rückführung von behandelten Flotaten in der Regel schlechter bewertet als eine Rückführung von unbehandelten Flotaten.

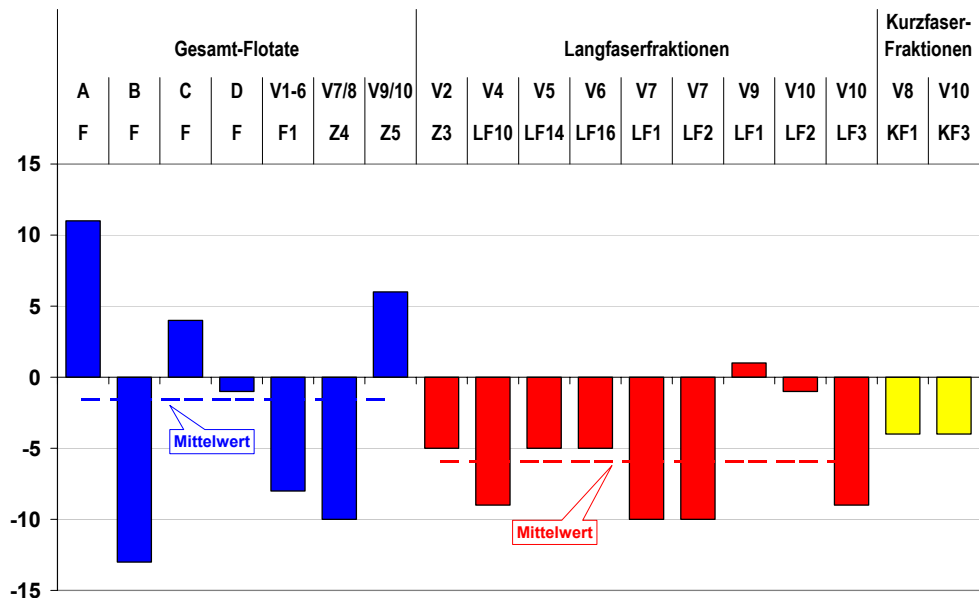


Abb. 16 Vergleichende Bewertung einer Rückführung von Flotaten, Langfaserstoffen und Kurzfaserstoffen

9.3 Verfahrensauswahl zu Aufarbeitung von Flotaten

Gesamt-bewertung Trennverfahren

Anhand der Einzelbewertungen wurden die angewandten Trennverfahren im Hinblick auf eine Flotatanreicherung und Rückführung gesamtheitlich bewertet. Diese erfolgt ebenfalls an einer Bewertungsmatrix, wobei zu beurteilenden Parameter gewichtet werden können. Dabei haben die Anreicherung von Langfasern und die Abtrennung von Makrostickys besondere Bedeutung.

Tab. 8 Auswirkungen von Flotaten und deren Fraktionen bei der Zuzugung zu Einlagenstoff auf wesentliche Stoffeigenschaften

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V10	Priorität
Anreicherung Langfasern	Q_{R30}	0	1	0	1	1	1	1	2
Rückhaltung organische Feinstoffe	$Q_{org,FS}$	-1	1	0	0	0	-1	1	1
Abtrennung Asche	Q_{Asche}	0	1	0	0	0	0	0	1
Abtrennung Makrostickys			1		0	0	0	-1	2
		-1	6	0	2	2	1	1	

Bewertungsmaßstab:

1	Positive Auswirkung
0	Keine signifikante Veränderung
-1	Negative Auswirkung

**Verfahrens-
auswahl**

Daraus lassen sich folgende 3 Verfahren (TOP3) für eine optimale Auftrennung ableiten:

- Cleaner
- Cleaner + Drucksortierer mit // 0,15 mm Schlitzweite
- Konustrenner mit # 0,15 mm Maschenweite

Dabei wird eine Schlitzweite von 0,15 mm gegenüber einer von 0,12 mm bevorzugt, da größere Durchtrittsmengen realisierbar sind und weniger Störungen durch Zusetzen des Siebkorbess zu befürchten sind.

Damit eine nennenswerte Ausbeute bei der Auftrennung von Flotaten gegeben ist, sollten möglichst hohe Überlaufraten R_W von ca. 35 bis 50 % gewählt werden.

9.4 Vergleich mit der direkten Rückführung von Flotaten**Cleaner**

Der Zulauf zum Cleaner ist das Flotat F1. Die gewünschte und für eine Rückführung vorgesehene Fraktion war die Fraktion F3.

Durch eine Stofftrennung werden zwar die Störstoffe sehr gut abgetrennt. Durch das aufbereitete Flotat sind jedoch Verschlechterungen hinsichtlich der Entwässerbarkeit zu erwarten. Insgesamt wird eine Rückführung des behandelten Flotats (Ergebnis: -5) etwas besser bewertet als eine Rückführung des Gesamtflotats (Ergebnis: -9), wobei jedoch in beiden Fällen eine Verschlechterung durch die Flotatrückführung eintritt.

Tab. 9 Einfluss der Rückführung des Flotats nach Einsatz des Cleaners auf die Produkt- und Stoffeigenschaften

		Veränderung durch Trennverfahren
Produkt- qualität	Festigkeitseigenschaften	↗
	Optische Eigenschaften	↗
Prozess- effizienz	Entwässerung	↓
	Wasserrückhaltevermögen	↓
	Makrostickys	↑
	PCD	↑

Bewertungsmaßstab:

↑	Verbesserung der Eigenschaft
↗	Geringfügige Verbesserung der Eigenschaft
0	Keine signifikante Veränderung
↓	Verschlechterung der Eigenschaft

**Cleaner +
Drucksortierer**

Der Zulauf war ebenfalls das Flotat F1. Die gewünschte und für eine Rückführung vorgesehene Fraktion war die Fraktion LF10.

Durch eine Stofftrennung werden optische Eigenschaften und PCD-Niveau leicht verbessert. Durch das aufbereitete Flotat sind jedoch Verschlechterungen hinsichtlich des Wasserrückhaltevermögens zu verzeichnen. Entwässerbarkeit, Festigkeiten und Makrostickys werden durch eine Stofftrennung nicht beeinflusst. Im Gesamtergebnis unterscheiden sich Gesamtflotat und aufbereitetes Flotat nicht signifikant.

Tab. 10 Einfluss der Rückführung des Flotats nach Einsatz von Cleaner und Drucksortierer auf die Produkt- und Stoffeigenschaften

		Veränderung durch Trennverfahren
Produkt- qualität	Festigkeitseigenschaften	0
	Optische Eigenschaften	↗
Prozess- effizienz	Entwässerung	0
	Wasserrückhaltevermögen	↓
	Makrostickys	0
	PCD	↑

Sprühfiltration

Als Zulauf zu dieser Verfahrenskombination diente das Flotat F5. Die gewünschte und für eine Rückführung vorgesehene Fraktion war die Fraktion LF3 der Versuchsreihe 10.

Anhand dieser Verfahrenskombination ist sehr gut zu sehen, dass durch eine Stofftrennung die beiden abgetrennten Fraktionen schlechter als der Ausgangsstoff bewertet werden. In einem Fall ist dies durch die Anreicherung der Makrostickys verursacht worden, im anderen Fall durch die Anreicherung des PCD-Wertes. Auf die sonstigen Eigenschaften hatte das Trennverfahren keinen signifikanten Einfluss.

Tab. 11 Einfluss der Rückführung des Flotats nach Einsatz einer Sprühfiltration auf die Produkt- und Stoffeigenschaften

		Veränderung durch Trennverfahren	
		Fraktion 1	Fraktion 2
		LF3	KF3
Produkt- qualität	Festigkeitseigenschaften	0	0
	Optische Eigenschaften	0	0
Prozess- effizienz	Entwässerung	0	0
	Wasserrückhaltevermögen	0	0
	Makrostickys	↓	0
	PCD	0	↓

Fazit

In keiner der ausgewählten Verfahrenskombinationen konnte durch die Auftrennung des Flotats eine nachhaltige Verbesserung in Bezug auf die Produkt- und Stoffeigenschaften erreicht werden. Je nach Ausgangssituation hinsichtlich Zusammensetzung des Flotats und des Fertigstoffs kann in Einzelfällen eine Flotatauftrennung jedoch zu einer Verbesserung der Produktion bzw. des Produkts führen.

10 Wirtschaftlichkeit einer Flotatrückführung

Wirtschaftlichkeit Die Kosten für eine vollständige Entsorgung der anfallenden Flotale wurden auf der Basis aktueller Recherchen berechnet (Fall 1) und mit den Kosten einer Behandlung lt. Verfahrensentwurf (Fall 2) und mit einer vollständigen Rückführung des unbehandelten Flotats (Fall 3) verglichen. Zugrunde gelegt wurde eine typische Papier- bzw. Kartonproduktion von 175.000 t pro Jahr. Hier zeigt sich, dass die Rückführung einer Entsorgung in jedem Fall vorzuziehen ist.

Tab. 12 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

			FALL 1	FALL 2	FALL 3	BEMERKUNG
			Flotat wird komplett entsorgt	Anwendung Cleaner + Drucksortierer RW=50 %	Flotat wird komplett in den Prozess zurückgeführt	
Entsorgung	Produktion	t/a	175000	175000	175000	Berechnet für eine mittelständische Papierfabrik mit ca. 175.000 t/a Gesamtproduktion und 5 % Flotatanteil
	Arbeitsstage	d	320	320	320	
	Flotatanteil	%	5	5	5	
	Rejektrate Cleaner	%		2,5		
	Rejektrate Sortierer			50		
	Masse Reststoffe	t/a	8750	4484	0	
	Masse Reststoffe	t/h	1,14	0,58	0,00	
	Entsorgungskosten	€/t	70	70	70	
	Entsorgungskosten	€/a	612.500	313.906	0	
Rohstoffe	Einsparung Rohstoff	t/h	0	0,56	1,14	Gerechnet für Rohstoff aus 50 % Misch- und 50 % Kaufhauspapier (Euwid)
	Einsparung Rohstoff	t/a	0	-4266	-8750	
	Kosten für Rohstoffe	€/t	55	55	55	
	Einsparung durch verringerte Rohstoffkosten	€/a	0	-234609	-481.250	
Investitionen*	Druckfilter	€/a	0	5.400	0	Anfrage bei Hersteller
	Cleaner	€/a	0	1.900	0	Anfrage bei Hersteller
	Rohrleitungen & EMSR	€/a	0	7.000	0	
	Installation	€/a	0	5.000	0	
	Gesamt	€/a	0	19300	0	
Betrieb	Betriebskosten	€/a	0	193	0	1% Investitionskosten
	Personalkosten	€/a	0	8.000	0	0,2 Mann
	Gesamt	€/a	0	8193	0	
Sonstige Kosten	Bahnabriss	€	1500	1.500	1500	
	zusätzliche Bahnabriss	n/d	0	0,5	1	
	Gesamt	€/a	0	240000	480000	
	Zusätzliche Gesamtkosten	€/a	612.500	346.790	-1.250	

*Abschreibung 5 Jahre

Literaturverzeichnis

- 1 BOERNER F., DALPKE H.-L., GELLER A. u. GÖTTSCHING L.
Anreicherung von Salzen im Fabrikationswasser und im Papier bei Einengung der
Wasserkreisläufe in Papierfabriken
Wochenblatt für Papierfabrikation -; 287 – 294 (1982); Nr. 9
- 2 PUHAR E. M.
Einsatz der Entspannungsfotation zur Verbesserung der Kreislaufwasserqualität
In: N.N. Wasserkreisläufe in der Papiererzeugung Gestaltung, Belastung, Mikrobiologie,
Kappen J. und Pauly D. (Hrsg.)
PTS-Manuskript MP-SE 817 MUC, München 1998
- 3 SCHWARZ M. u. VELINSKY J.
Überlegungen zur Wasserführung in Altpapier verarbeitenden Papierfabriken
Wochenblatt für Papierfabrikation -, 825 – 832 (1994); Nr. 21
- 4 GÖTTSCHING L.
Papier Lexikon
Gernsbach: Dt. Betriebswirt-Verlag 1999
- 5 HEINEMANN S.
Beitrag zur Bewertung der massespezifischen Oberfläche und ihres Einflusses auf das
Festigkeitsverhalten von Papierfaserstoffen
Dissertation
Dresden: TU Dresden 1984
- 6 BLECHSCHMID J.
Grundprozesse der Papiererzeugung, Trennen, Sortieren, Reinigen, Fraktionieren
München: PTS-Verlag
- 7 STRAUSS J.
Einführung in die Papiererzeugung
Faserrohstoffe der Papierindustrie, Faserstoffherzeugung und –aufbereitung
München: PTS-Verlag
- 8 TRUSCHLER J. und T. BEINDORF
Prozesswasseraufbereitung und Faserrückgewinnung als Weg zu neuen Produkten
München: PTS-Verlag 1998
PTS-Manuskript MS 79
- 9 BIENERT CH., CORDIER O. und J. KAPPEN
Reduzierung von Faserstoffverlusten und Einsparung von Entsorgungskosten durch Optimierung
der Aufbereitung von Altpapier für die Erzeugung von graphischen Papieren mittels
Prozesssimulation
München: Papiertechnische Stiftung (PTS)
PTS-Abschlussbericht PTS AiF 13355