

## Faserrückgewinnung – Zusammensetzung von Flotaten aus Deinkinganlagen

E. Hanecker

### Zusammenfassung

Steigende Mengen an Verunreinigungen im Altpapier und die erhöhten Qualitätsanforderungen an deinkte Stoffe erfordern weit aufwändigere Reinigungsprozesse. Dies führt zu einem weiteren Anstieg der Abfallmengen aus der Altpapieraufbereitung. Zunehmende Altpapiereinsatzquoten bei der Produktion graphischer Papiere verschärfen diese Entwicklung. Die hohen Mengen an Reststoffen aus Deinkinganlagen zwingen die Betreiber dieser Anlagen, die Verwertung aber auch Vermeidung dieser Abfälle zu intensivieren.

Es sollten die Anteile an Fasern in Rejektströmen von Deinkinganlagen ermittelt und deren papiertechnologischen Eigenschaften charakterisiert sowie das wirtschaftliche Potenzial einer Faserrückgewinnung aus Kreislaufwässern und Rejekten von Deinkinganlagen abgeleitet werden.

Deinkingrejekte der Vor-Flotation und Nach-Flotation aus einer Reihe von Deinking-Anlagen, die Deinkingstoffe zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier und aufgebesserten graphischen Papieren erzeugen, wurden hinsichtlich ihrer Anfallmengen und stofflichen Zusammensetzung charakterisiert. Mit diesen Messdaten konnte aufgezeigt werden, dass der Hauptteil der Feststoffe mit über 60 % anorganische Bestandteile enthält. Der Langfaseranteil liegt deutlich unter 1 %. Ein Potenzial zur Wiederverwertung dieses Langfaseranteils wird aufgrund der geringen Mengen und der Belastung an Druckfarben und Makrostickys, die über den Flotationsprozess ausgeschleust und damit in den Rejekten angereicht werden, unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht gesehen.

Eine Bewertung der Stoff- und Wasserströme der relevanten Entwässerungs- und Eindickstufen zeigt mit über 95 % einen hohen Anteil von Feinstoffen und Füllstoffen in den entsprechenden Filtraten. Aufgrund des mengenmäßig geringen Langfaseranteils von weniger als 0,05 % in diesen Filtraten wird eingeschätzt, dass eine Abtrennung verwertbarer Faserstoffbestandteile aus den Stoffströmen zur Mikroflotation unter wirtschaftlichem Aspekt nicht gegeben ist.

Die für eine Aufkonzentration des Langfaseranteils erforderlichen Prozessstufen werden als unwirtschaftlich eingestuft.

Im Ergebnis liegt eine Datenbasis über Anfall und Zusammensetzung von Flotaten aus Deinkinganlagen vor, die die Grenzen einer wirtschaftlich sinnvollen Faserrückgewinnung aufzeigt.

### Danksagung

Das Forschungsvorhaben AiF 14142 wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

### Composition of flotates from deinking plants

#### Abstract

The growing amounts of contaminants in recovered paper and the more stringent quality requirements on deinked pulps require treatment processes that involve far more time and effort.

This in turn gives rise to even greater volumes of waste from recovered paper treatment. Rising rates of recovered paper utilisation in the production of graphic papers serve to aggravate this development. The large amounts of solid wastes from deinking plants are forcing the operators of these plants to intensify their efforts not only to utilise such wastes but also to prevent them from accumulating.

The proportions of fibres in the reject flows from deinking plants was to be determined, the paper technological properties of such reject flows characterised and the economic potential of fibre recovery from the process water and the rejects from deinking plants established.

Deinking rejects from the pre- and post-flotation systems from a number of deinking plants that use the DIP for the production of newsprint and improved graphic papers was characterised as to their volume and material composition. This data was used to show that most of the rejects contained more than 60 % inorganic components. The percentage of long fibres was much less than 1 %. From an economical point of view, no potential was seen for reusing this share of long fibres in light of the small amounts involved and in view of the printing inks and macrostickies loading that are discharged via the flotation process, thus enriching the rejects.

Evaluation of the pulp and water flows in the relevant dewatering and thickening stages showed a high percentage of fines and fillers in the corresponding filtrates (more than 95 %). In view of the low percentage of long fibres (0.05 %) in these filtrates, it is estimated that there is little economical sense in separating usable pulp components from the flows to microflotation.

The process stages required to increase the concentration of the long fibre fraction are considered to be uneconomical.

In conclusion, a database exists on the volumes and composition of flotates from deinking plants that points out the limits of economically meaningful fibre recovery.

### Acknowledgement

The AiF 14142 research project was sponsored by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi and carried under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF) in Cologne. We would like to express our warmly gratitude for this support.

## **1 Einleitung**

Der Stand der Technik der Altpapieraufbereitung für graphische Papiere hat sich in den letzten Jahren verändert. Im Vergleich zu den Deinking-Anlagen der siebziger und achtziger Jahre sind die Anlagen heute weitaus komplexer und unterscheiden sich in der Prozesstechnologie.

Moderne Deinking-Anlagen zur Erzeugung von deinktem Stoff (DIP) für die Zeitungsdruckpapierherstellung verfügen heute über zwei Flotationskreisläufe mit zwischengeschalteter Dispergierung, Leicht- und Schwerschmutzcleaner und 2 Kreislaufwassersystemen. Folgen dieser Technologie sind höhere Kosten für Chemikalien zur Erhöhung des Reinigungswirkungsgrades und ein Anstieg der Abfallmengen [1, 2].

Vor allem steigende Mengen an Verunreinigungen im Altpapier und die erhöhten Qualitätsanforderungen an deinkte Stoffe erfordern diese weit aufwändigeren Reinigungsprozesse und führen damit zu einem Anstieg der Abfallmengen.

Die Papierfabriken, die vorrangig Altpapier einsetzen, stellen hinsichtlich der Anzahl der in mehreren Umfragen repräsentativ erfassten Betriebe, der Produktionsmengen und des Rückstandsauftommens die größte Gruppe dar. In Abbildung 1 werden die spezifischen Rückstandsmengen der Sortierrückstände (aus der Altpapieraufbereitung) und der Deinkingrückstände der Jahre 1994, 1997, 2001 und 2004 miteinander verglichen. Ersichtlich ist, dass insbesondere aufgrund der gesteigerten Deinkingkapazitäten und der erhöhten Altpapiereinsatzquote in den deutschen Papierfabriken die spezifischen Mengen der Deinkingrückstände in den Jahren 1994 bis 2001 generell deutlich angestiegen sind [3]. Im Jahr 2004 ging dieser Anteil erstmals leicht zurück.

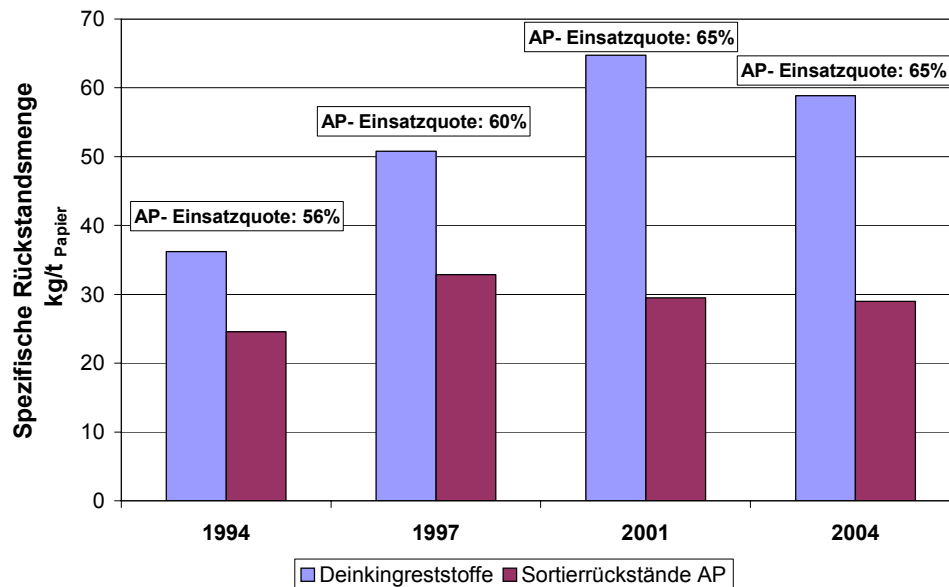


Abbildung 1: Entwicklung der Rückstände aus der Altpapierstoffaufbereitung

Bei einem Vergleich europäischer Papierfabriken, die vorwiegend graphische Papiere aus Altpapier herstellen, wurde das altpapierspezifische Deinkingrückstandsauftommen ermittelt [4]. In Stoffaufbereitungsanlagen, in denen Flotationsanlagen zur Erzeugung von Deinkingstoff betrieben werden, kann sich das spezifische Deinkingrückstandsauftommen bis zu einem Faktor 4 unterscheiden. Die Werte variierten zwischen 0,07 t und 0,37 t Deinkingrückstände in toto / t eingesetztem Altpapier. Bei dieser Statistik wurden zur Vergleichbarkeit nur Papierfabriken berücksichtigt, die mehr als 80 % Altpapier vorrangig aus unteren Sorten als Faserrohstoff einsetzen.

Der gesamte Reststoffanfall ist abhängig von der Altpapierqualität und der Aufbereitungstechnologie. Im Minimum lag der Reststoffanfall bei 13 % Feststoff bezogen auf die eingesetzte Altpapiermenge für die Aufbereitung von DIP zur Zeitungsdruckpapierherstellung, während die Verluste bei der Aufbereitung von DIP für höherwertige graphische Papiere 25 % und für die Produktion von Tissue-Papier über 30 % betragen [5].

Der Hauptteil der Reststoffe aus der Altpapieraufbereitung sind Deinkingschlämme, welche die Verunreinigungen enthalten, die durch Flotation und Wäsche entfernt werden. Deinkingschlämme enthalten außer den Druckfarbenresten auch Füllstoffe, Pigmente und Faserstoffe.

Die hohen Mengen an Reststoffen aus Deinkinganlagen zwingen die Betreiber dieser Anlagen, die Verwertung, aber auch Vermeidung dieser Abfälle zu intensivieren. Zunehmende Altpapiereinsatzquoten bei der Produktion graphischer Papiere verschärfen diese Entwicklung. Zu-

künftig werden geeignetere und vor allem kostengünstige Verfahren zur Verringerung des Abfallanteils aus Deinkinganlagen benötigt.

## **2 Forschungsziel**

Aufgrund der immer aufwendiger werdenden Reinigungsverfahren bei der Altpapieraufbereitung in Deinkinganlagen erhöht sich der Anfall an Reststoffen. Dadurch steigt das Abfallaufkommen und damit die Verwertungs-/Entsorgungskosten. Daneben entstehen aber auch Kosten für den Mehrverbrauch an Altpapier. Aus dieser Situation resultiert die Notwendigkeit, zukünftig verstärkt geeignete und vor allem kostengünstige Verfahren zur Faserrückgewinnung aus Schlämmen und Kreislaufwässern aus Deinkinganlagen einzusetzen.

Bis heute gibt es jedoch keine systematischen Untersuchungen zum Faseranteil in Schlämmen aus Deinkinganlagen, zu deren papiertechnologischen Eigenschaften und zur Effizienz von Faserrückgewinnungs- und Reinigungsprozessen oder Prozesskombinationen, für die wirtschaftliche Faserrückgewinnung aus Kreislaufwässern und Schlämmen von Deinkinganlagen.

Unter diesem Aspekt sollten im Rahmen des Projekts die Anteile an Fasern in Schlämmen von Deinkinganlagen systematisch ermittelt und deren papiertechnologische Eigenschaften charakterisiert werden. Diese systematische Analyse ist erforderlich, um darzulegen, ob ein ausreichendes Optimierungspotenzial vorhanden ist, um unterschiedliche Faserrückgewinnungsverfahren anzuwenden und hinsichtlich ihres Optimierungspotenzials zu bewerten

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Faserstoffanteil in Rejekt- und Wasserströmen**

Zielsetzung war, die Relevanz des Faseranteils in Deinkingflotaten und Kreislaufwässern von Deinkinganlagen zu ermitteln. Dazu wurden die in den Anlagen entnommenen Stoff- und Wasserproben nach Mc-Nett fraktioniert und der Faseranteil aus den Siebfraktionen ermittelt.

Im Ergebnis sollte eine Quantifizierung relevanter Rejekt- und Wasserströme mit hohem Faseranteil erhalten werden, die für die weiteren Untersuchungen herangezogen werden sollten.

Definition der Feststoffzusammensetzung:

- Faserstoffe werden definiert als Summe der Faserstofffraktionen R16, R30, R50 und R100
- Langfaserstoffe werden ermittelt als Summe der Fraktionen R16 und R30
- Kurzfaserstoffe werden bestimmt als Summe der Fraktionen R 30 und R100
- Füllstoffe werden über den Aschegehalt bei 575 °C ermittelt
- Feinstoffe sind der Rest (Durchgangsstoff D100 – Aschegehalt) und beinhalten Faserfeinstoffe, Mikrostickys, Druckfarbenpartikel und andere organische Partikel wie z.B. Strichbinder.

#### **3.1.1 Deinkingflotate**

Zum Einsatz kamen Flotate aus Deinkinganlagen zur Aufbreitung von deinktem Stoff (DIP) für Zeitungsdruckpapiere und aufgebesserte Sorten.

Aus Tabelle 1 und Tabelle 2 geht die Zusammensetzung der Flotate der Vorflotation und Nachflotation hervor.

Der Hauptteil der Deinkingflotate setzt sich aus Füllstoffen und Feinstoffen zusammen, mit einem prozentualen Anteil von 98,3 % für Flotate aus der Vorflotation und 96,4 % für Flotate

aus der Nachflotation. Der Langfaseranteil in den Flotaten der Vorflotation betrug im Mittel lediglich 0,5 % und in den Flotaten der Nachflotation 0,7 %.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Flotate aus der Vorflotation

Untersuchung	Bereich (Mittelwert) in %	Bestandteil	Anteil (Mittelwert) in %
Stoffdichte	1,4 – 13,3 (6,0)	Feststoffgehalt	1,4 – 13,3 (6,0)
Aschegehalt	60,7 – 80,0 (70)		
Fraktionierung	% bezogen Feststoff		% bezogen Feststoff
R16	0,01 – 0,08 (0,04)	Langfaser	0,25 – 0,69 (0,48)
R30	0,2 – 0,63 (0,44)		
R50	0,3 – 0,63 (0,43)	Kurzfaser	0,93 – 1,43 (1,19)
R100	0,47 – 0,98 (0,75)		
D100	97,97 – 98,55 (98,33)	Feinstoff	18,55 – 37,73 (28,37)
		Asche	60,7 – 80,0 (69,96)

Tabelle 2: Zusammensetzung der Flotate aus der Nachflotation

Untersuchung	Bereich (Mittelwert) in %	Bestandteil	Anteil (Mittelwert) in %
Stoffdichte	0,6 – 6,1 (3,4)	Feststoff	0,6 – 6,1 (3,4)
Aschegehalt	68,1 – 78,3 (73,4)		
Fraktionierung	% bezogen Feststoff		% bezogen Feststoff
R16	0,01 – 0,06 (0,03)	Langfaser	0,31 – 0,82 (0,73)
R30	0,3 – 0,89 (0,7)		
R50	0,59 – 0,98 (0,76)	Kurzfaser	2,69 – 3,18 (2,87)
R100	2 – 2,3 (2,1)		
D100	96,0 – 96,9 (96,4)	Feinstoff	18,1 – 28,1 (23,0)
		Asche	68,1 – 78,3 (73,4)

Die weitere Auswertung nach der mengenmäßigen Zusammensetzung erfolgte unter Berücksichtigung der Flotationsverluste und des Druckfarbenanteils. Der Verlust der jeweiligen Flotationsstufe wurde über die Aschegehalte des Einlaufs, Gutstoffs und Rejekts der Flotation nach Formel 1 ermittelt. Zur Bestimmung des Druckfarbenanteils wurde von einer Druckfarbenmenge von 1,3 % im Altpapier ausgegangen und die Ink Elimination (IE) nach Formel 2 als Maß für die Druckfarbenentfernung herangezogen.

$$\text{Formel 1} \quad V = \left( \frac{A_i - A_a}{A_r - A_a} \right) \times 100 [\%]$$

(V = Verlust; A = Aschegehalt; i = Einlauf (inlet); a = Gutstoff (accept); r = Rejekt)

$$\text{Formel 2} \quad IE = \frac{\frac{(1 - R_{\infty, UP})^2}{R_{\infty, UP}} - \frac{(1 - R_{\infty, DP})^2}{R_{\infty, DP}}}{(1 - R_{\infty, UP})^2} \times 100 [\%]$$

(IE = Ink Elimination;  $R_{\infty}$  = Absorptionskoeffizient R bei einer Schwerpunktwellenlänge von 700 nm, UP = undeinkter Stoff (Einlauf Flotation) DP = deinkter Stoff (Gutstoff Flotation)

Die Feststoffverluste der Vorflotation und Nachflotation bezogen auf den Altpapierpapiereintrag und deren Zusammensetzung sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 3: Feststoffverlust der Vorflotation und stoffliche Zusammensetzung

Anteil bezogen Altpapiereinsatz (otro)		Bereich (Mittelwert)
Feststoffverlust	[%]	5 – 25 (12,8)
Langfaser	[%]	0,028 – 0,086 (0,053)
Kurzfaser	[%]	0,044 – 0,301 (0,158)
Feinstoff, sonstige Verunreinigungen	[%]	1,757 – 6,241 (3,39)
Asche	[%]	2,898 – 18,340 (9,324)
Druckfarben	[%]	0,043 – 0,278 (0,120)

Tabelle 4: Feststoffverlust der Nachflotation und stoffliche Zusammensetzung

Anteil bezogen Altpapiereinsatz (otro)		Bereich (Mittelwert)
Feststoffverlust	[%]	1,46 – 11,5 (4,8)
Langfaser	[%]	0,012 – 0,093 (0,033)
Kurzfaser	[%]	0,041 – 0,366 (0,141)
Feinstoff, sonstige Verunreinigungen	[%]	0,348 – 2,912 (1,072)
Asche	[%]	1,049 – 8,125 (3,55)
Druckfarben	[%]	0,003 – 0,015 (0,008)

Der geringe Faseranteil in den Flotaten wird aus den ermittelten Daten klar ersichtlich. Der Faserstoffverlust (Langfasern und Kurzfasern) der Vorflotation betrug bezogen auf eingesetztes Altpapier im Mittel 0,2 % und der Langfaserverlust nur 0,05 %. Für die Nachflotation wurden als Mittelwert ein Faserstoffverlust von 0,17 % und ein Langfaserverlust von 0,03 % bestimmt.

Die in älteren Arbeiten in Schlämmen von Deinking-Flotationszellen ermittelten Faserstoffanteile von 3 – 29 % bezogen auf den Feststoffgehalt wurden nicht bestätigt [6]. Das bedeutet, dass der Anteil verwertbarer Fasern abgenommen hat.

Eine zeitgleich mit dem Forschungsvorhaben durchgeführte Studie über die Rejektzusammensetzung einer Deinkinganlage zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier [7] bestätigt die erzielten Ergebnisse. Der gesamte Faserstoffverlust wurde mit 0,9 % ermittelt (ohne Rejekte der Mikroflotation). Der Hauptteil der Faserstoffverluste wurde in den Rejekten der Lochsortierung und der Schwerschmutzreinigung ermittelt. Die Faserstoffverluste der Vor- und Nachflotation betragen zusammen lediglich 0,1 %, was auf den geringen Faserstoffanteil im Flotat der Sekundärstufe der Vorflotation (0,5 %) und der Nachflotation (1,5 %) zurückgeführt wird.

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme in zwei unterschiedlichen Deinkinganlagen zur Erzeugung graphischer Papiere wurde ebenfalls der größte Anteil der Langfaserverluste in den Sortierstufen bestimmt [8, 9].

#### Fazit:

Aus den Daten wird klar ersichtlich, dass der Faseranteil in den Flotaten der Deinkinganlagen gering ist und sich der überwiegende Anteil aus Füllstoffen und Faserfeinstoffen sowie den im Durchgangstoff enthaltenen sonstigen durch die Flotation ausgetragenen Verunreinigungen zusammensetzt. Ein für eine Faserrückgewinnung mengenmäßig verwertbares Potential wird nicht gesehen.

### 3.1.2 Kreislaufwässer

Zum Einsatz kamen Filtrate vom Scheibenfilter der Deinking-Anlagen aus dem Loop 1 und Loop 2.

Die Feststoffgehalte in den Filtraten weisen erhebliche Schwankungsbreiten auf. Mit einem Mittelwert für die Filtrate vom Scheibenfilter des Loop 1 von 0,03 % und vom Loop 2 von 0,04 % war der Feststoffgehalt niedrig.

Eine Analyse der stofflichen Zusammensetzung erfolgte nur an solchen Filtraten mit „höheren“ Stoffdichten, um auch ausreichend Material zu untersuchen. Die Feststoffgehalte und Zusammensetzung sind in der nachfolgenden Tabelle 5 und Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 5: Feststoffgehalt und Zusammensetzung der Filtrate vom Scheibenfilter 1 (Loop 1 der Deinkinganlagen)

Untersuchung	Bereich (Mittelwert) in %	Bestandteil	Anteil (Mittelwert) in %
Stoffdichte	0,001 – 0,069 (0,03)	Feststoffgehalt	0,001 – 0,069 (0,03)
Fraktionierung	% bezogen Feststoff		% bezogen Feststoff
R16	0	Langfaser	0 – 0,03 (0,01)
R30	0 – 0,03 (0,01)		
R50	1 – 2 (1,58)	Kurzfaser	2,1 – 4,4 (3,18)
R100	1,1 – 2,6 (1,6)		
D100	95,6 – 97,9 (96,8)	Feinstoff, Asche	95,6 – 97,9 (96,8)

Tabelle 6: Feststoffgehalt und Zusammensetzung der Filtrate vom Scheibenfilter 2 (Loop 2 der Deinkinganlagen)

Untersuchung	Bereich (Mittelwert) in %	Bestandteil	Anteil (Mittelwert) in %
Stoffdichte	0,002 – 0,11 (0,04)	Feststoffgehalt	0,002 – 0,11 (0,04)
Fraktionierung	% bezogen Feststoff		% bezogen Feststoff
R16	0	Langfaser	0 – 0,05 (0,03)
R30	0 – 0,05 (0,03)		
R50	1 – 2 (1,29)	Kurzfaser	2,1 – 4,6 (2,68)
R100	1,1 – 2,6 (1,39)		
D100	95,8 – 97,9 (97,3)	Feinstoff, Asche	95,8 – 97,9 (97,3)

Der Faseranteil im Feststoff der Filtrate aus Loop 1 belief sich im Mittel auf 3,2 % und aus Loop 2 auf 2,7 %. Der Langfaseranteil lag nur bei 0,01 % für Kreislaufwässer im Loop 1 und 0,03 % für Kreislaufwässer im Loop 2.

Diese Untersuchungen belegen den geringen Anteil an Faserstoffen in den Kreislaufwässern der Deinkinganlagen, wo sich hauptsächlich Füllstoffe und Feinstoffe anreichern. Dies wird auch bestätigt, wenn man die Entwicklung der Aschegehalte von Stoffen über die einzelnen Prozessstufen betrachtet. Eine Entwässerung ist grundsätzlich mit einer Verringerung des Aschegehalts, eine Verdünnung mit einer Zunahme des Aschegehalts verbunden.

Aufgrund der geringen Faseranteile in den Kreislaufwässern der Deinkinganlagen ist auch der Langfaseranteil in den Flotaten der Kreislaufwasserreinigung gering. Der Langfaseranteil wurde mit < 4 % ermittelt [10]. Geringe Faserstoffanteile von < 1 % wurden auch im Flotat einer Kreislaufwasserreinigungsanlage zur Herstellung von DIP für Kopierpapiere ermittelt [7].

**Fazit:**

Ein mengenmäßig bedeutendes verwertbares Potenzial zur Rückgewinnung von Faserstoffen aus den Kreislaufwässern und Flotaten der Kreislaufwasserreinigung wird aufgrund des geringen Faserstoffanteils nicht gesehen.

## 3.2 Papiertechnologische Eigenschaften der Faserfraktionen

### 3.2.1 Deinkingflotate

Aufgrund der geringen Faseranteile in den Schlämmen und Kreislaufwässern konnte die vorgesehene Bewertung des papiertechnologischen Potenzials der Faserstofffraktion nicht vorgenommen werden.

Abweichend davon wurde der Druckfarbenanteil sowie der Gehalt an Makrostickys aus Daten zum Druckfarbenaustrag (Ink Elimination) und zur Reduzierung von Makrostickys herangezogen und der Anteil der einzelnen Inhaltsstoffe rechnerisch ermittelt. Damit konnte die Reinheit hinreichend charakterisiert werden.

Zieht man den über die Ink Elimination ermittelten Druckfarbenanteil (Tabelle 3 und Tabelle 4) in den Flotaten der Vor- und Nachflotation heran, so zeigt sich, dass der Druckfarbenanteil bezogen auf den Langfaseranteil über 57 % in den Flotaten der 1. Flotation beträgt. In den Flotaten der Nachflotation wurde noch ein Anteil von über 13 % ermittelt.

Da durch die Flotation überwiegend abgelöste Druckfarbenpartikel mit einem für die Flotation geeignetes Partikelgrößenspektrum von 10 bis 100 µm abtrennt werden, ist zu erwarten, dass der Hauptteil dieser Druckfarbenmenge in der Feinstoff- und Füllstofffraktion angereichert ist. Große optisch störende Schmutzpunkte sollen sich in der Langfaserfraktion anreichern, wobei davon ausgegangen werden kann, dass es sich um an den Fasern haftende Druckfarbenpartikel handelt.

Die Anreicherung der Druckfarbenpartikel in der Feinstoff- und Füllstofffraktion konnte durch die Untersuchung eines Deinkingflotats der Vorflotation bestätigt werden. Für die Untersuchungen wurde das Flotat mit Prüfsieben unterschiedlicher Siebmaschenweite fraktioniert und der Gesamtstoff, sowie die Einzelfraktionen und der Durchgangsstoff hinsichtlich des Weißgrades charakterisiert. Die Weißgrade des Flotats und der einzelnen Fraktionen sind in Abbildung 2 dargestellt. Der relativ „hohe Weißgrad“ von 45 % des Rückstandes auf dem Prüfsieb mit einer Maschenweite von 150 µm wird relativiert durch eine starke Verunreinigung durch optische sichtbare Schmutzpunkte.

Zur Ermittlung der Belastung der Langfaserfraktion mit optisch störenden Schmutzpunkten wurde das Deinkingflotat aus der Vorflotation einer Deinkinganlage mit einem Prüfsieb mit der Maschenweite von 150 µm fraktioniert. Die optischen Eigenschaften und der Gehalt an Schmutzpunkten im Rückstand der Fraktionierung wurden an Laborblättern (60 g/m<sup>2</sup>) ermittelt (Tabelle 7). Es konnte bestätigt werden, dass die Faserstofffraktion stark mit Druckfarbenpartikeln belastet ist. Sowohl Weißgrad als auch Absorptionskoeffizient  $K_{700}$  der Faserstofffraktion des Deinkingflotats unterschieden sich nicht vom Einlauf in die Flotation. Das lässt auf den hohen Anteil an nicht abgelösten Druckfarbenpartikeln schließen, welche durch die Fraktionierung nicht heraus gewaschen werden konnten. Die Schmutzpunktfläche in der Faserstofffraktion ist mit 24780 mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> um den Faktor 6 höher als die Schmutzpunktfläche im Einlauf zur Flotation (3450 mm<sup>2</sup>/kg). Der hohe Anteil an Druckfarbenpartikeln, die an den Fasern haften, geht auch aus dem hohen Schmutzpunktgehalt im Größenklassenbereich von 50 – 150 µm hervor.



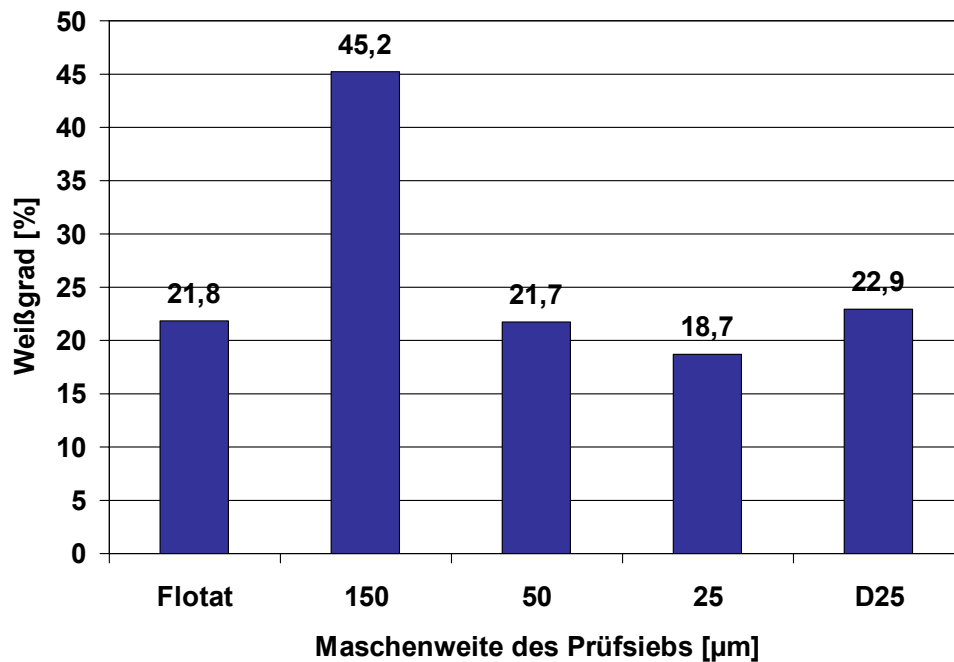


Abbildung 2: Weißgrad des Deinkingflotats und der Einzelfractionen (D25 = Durchgang)

Tabelle 7: Optische Eigenschaften der Langfaser-Fraktion (Rückstand der Fraktionierung mit einem Prüfsieb der Maschenweite von 150 µm) eines Deinkingflotats der Vorflotation

KenngroÙe	Einheit	Ergebnis
Weißgrad	[%]	48,1
Absorptionskoeffizient $K_{700}$	[mm <sup>2</sup> /kg]	8,1
Schmutzpunktanzahl gesamt	[N/m <sup>2</sup> ]	1347600
Schmutzpunktfläche gesamt	[mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	24780
Mittlere Partikelgröße	[µm <sup>2</sup> ]	18394
Schmutzpunktfläche Größenklassen 50 – 150 µm	[mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	6850
Schmutzpunktfläche Größenklassen > 150 µm	[mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	17930

Der Makrosticky-Gehalt in den Flotaten der Vorflotation wurde aus den ermittelten Gehalten an Makrostickys im Gutstoff der Vorsortierung und im Einlauf der Feinsortierung unter Berücksichtigung der Massenströme errechnet.

Die in Tabelle 8 zusammengefassten Ergebnisse zeigen die erhebliche Belastung der Flotate der Vorflotation mit Makrostickys. Aufgrund der geringen mittleren Partikelgröße der Makrostickys wird erwartet, dass diese Makrostickys sich überwiegend im Akzept von Sortieraggregaten anreichern.

Tabelle 8: Gehalt an Makrostickys im Flotat der Vorflotation

Makrostickys	Einheit	Bereich (Mittelwert)
Anzahl	[N/kg]	3380 – 96760 (64820)
Fläche	[mm <sup>2</sup> /kg]	2100 – 8100 (4450)
Mittlere Partikelgröße	[mm <sup>2</sup> ]	0,025 – 0,233 (0,089)

Ebenfalls hoch belastet mit Makrostickys sind die Flotate der Nachflotation. Auch hier macht die geringe mittlere Partikelgröße eine Anreicherung der Makrostickys im Akzept der Sortieraggregate wahrscheinlich.

Die Reduzierung vorwiegend kleiner Makrostickys durch Flotation und ein höherer Anteil an Makrostickys im Flotat der Nachflotation zeigten auch die Untersuchungen von Perrin [7].

#### Fazit:

Aus den Daten wird klar ersichtlich, dass der Faseranteil in den Flotaten der Deinkinganlagen stark mit Druckfarben verunreinigt ist. In den Flotaten reichern sich zudem kleine Makrostickys an. Ein für eine Faserrückgewinnung verwertbares Potential wird nicht gesehen.

### 3.2.2 Kreislaufwässer

Um zusätzliche Informationen zur Druckfarbenbelastung der Kreislaufwässer in Deinkinganlagen zu erhalten, wurden Stoffproben (Gutstoffe der Vor- und Nachflotation) und Kreislaufwasserproben (Klar- und Trübfiltrate vom Scheibenfilter 1 und 2) aus einer Anlage untersucht. Zur Ermittlung des Schmutzpunktgehalts im Größenklassenbereich 1 – 50 µm wurden Membranfilterpräparate mit einer Belegung von 4 g/m<sup>2</sup> gebildet und bildanalytisch mit einem Forschungsmikroskop nach einer an der Forschungsstelle entwickelten Methode [11] ausgewertet. Die geringe Belegung sollte sicherstellen, dass eine Monoschicht vorliegt.

Die in Tabelle 9 zusammengefassten Ergebnisse zeigen, dass zwischen 25 und bis zu 90 % der kleinen Druckfarbenpartikel in den Filtraten angereichert werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Druckfarbenpartikel überwiegend in der Feinstoff- und Füllstofffraktion befinden.

Tabelle 9: Schmutzpunktfläche im Größenklassenbereich von 1 – 50 µm von Klarfiltraten und Gutstoffen der Flotation

Loop 1 der Deinking-Anlage	Schmutzpunktfläche [mm <sup>2</sup> /kg]	Loop 2 der Deinking-Anlage	Schmutzpunktfläche [mm <sup>2</sup> /kg]
Gutstoff Vorflotation	0,468	Gutstoff Nachflotation	0,199
Trübfiltrat Scheibenfilter 1	0,247	Trübfiltrat Scheibenfilter 2	0,063
Klarfiltrat Scheibenfilter 1	0,114	Klarfiltrat Scheibenfilter 1	0,179

Abbildung 3 zeigt Mikroskopaufnahmen der Membranfilterpräparate der unterschiedlichen Filtrate vom Scheibenfilter 1 und 2. Deutlich zu erkennen ist der geringe bis fehlende Faseranteil. Es sind aber auch Druckfarbenpartikel ersichtlich.

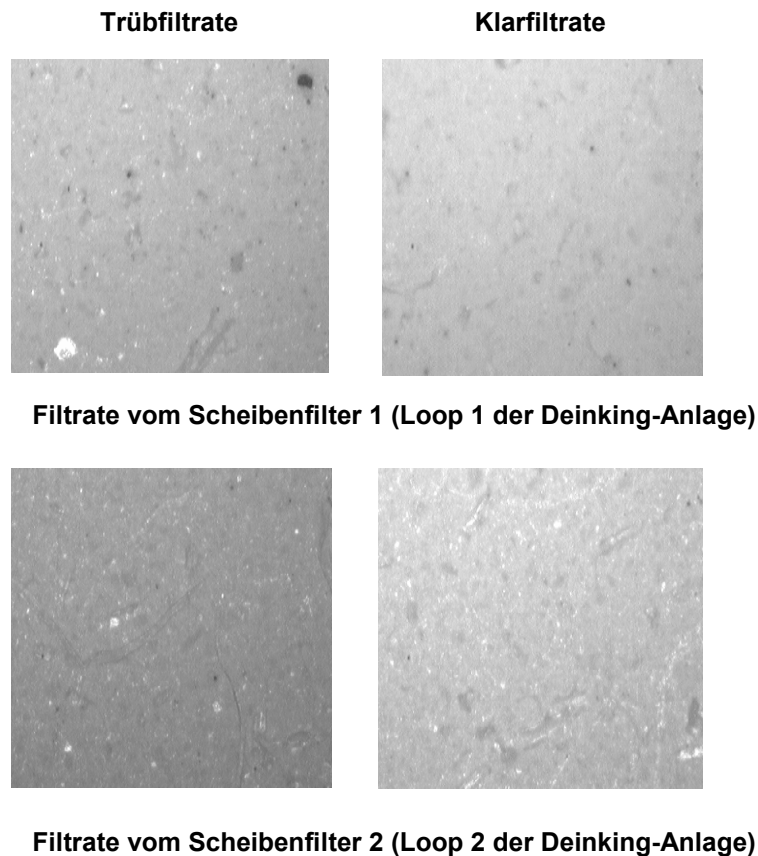


Abbildung 3: Mikroskopaufnahmen von Membranfiltern mit einer Belegung von 4 g/m<sup>2</sup> Feststoff von Scheibenfilterfiltraten

#### Fazit:

Über die Entwässerungsstufen können sich sowohl kleine Druckfarbenpartikel als auch potenzielle Sekundärstickys, sowie Mikrostickys in den Kreislaufwässern der Deinkinganlagen anreichern. Diese sollten überwiegend in der Feinstoff- und Füllstofffraktion vorliegen.

### 3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In Altpapieraufbereitungsanlagen zur Herstellung von DIP für graphische Papiere fallen die nachfolgend angeführten Feststoffverluste in den einzelnen Prozessstufen an:

• Prozessstufe	Feststoffverlust [% bezogen eingesetztes Altpapier]
• Zerkleinerung	1
• Vorsortierung	3,1
• Vorflotation	9,9
• Feinsortierung	1,6
• Nachflotation	5,3

Für die im Rahmen des Projektes untersuchten DIP-Anlagen lagen die gesamten Feststoffverluste der Flotation (Vor- und Nachflotation) im Bereich von 8 – 23,4 % (Mittelwert: 16,5 %).

Der spezifische Langfaserverlust und die für die Entsorgung und zusätzlichen Altpapiermengen anfallenden spezifischen Kosten sind in nachfolgender Tabelle 10 zusammengefasst. Zur

Ermittlung der Entsorgungskosten wurde ein Trockengehalt von 60 % angesetzt und von Entsorgungskosten mit 180 € / t Abfall ausgegangen [12]. Für die zusätzlichen Rohstoffkosten wurde ein Altpapierpreis für Deinkingware mit 75 € / t herangezogen.

Tabelle 10: Spezifische Langfaserverluste und damit verbundene zusätzliche Rohstoff- und Entsorgungskosten

	Spezifischer Gesamtverlust der Flotation	Spezifischer Langfaserverlust der Flotation	Spezifische Entsorgungskosten für den Langfaseranteil	Spezifische Rohstoffkosten für den Langfaseranteil	Spezifische Gesamtkosten für den Langfaseranteil
	kg / t Altpapier	kg / t Altpapier	€ / t Altpapier	€ / t Altpapier	€ / t Altpapier
Minimum	77,30	0,52	0,16	0,04	0,19
Maximum	235,90	1,27	0,38	0,10	0,48
Mittelwert	164,86	0,83	0,25	0,06	0,31

Bezogen auf die für die Entsorgung der gesamten Deinkingflotate anfallenden mittleren Entsorgungskosten von 50 € / t Altpapier und die dafür zusätzlichen mittleren Rohstoffkosten von 12 € / t Altpapier sind die spezifischen Gesamtkosten für die Langfaserverluste durch Flotation von im Mittel 0,30 € / Altpapier gering.

Zur Bewertung der Langfaserverluste über die gesamten Prozessstufen einer Deinkinganlage wurden die oben aufgeführten Feststoffverluste herangezogen. Für eine Wasserbehandlung wurde ein Feststoffverlust von 3 % angesetzt. Für die Langfaseranteile in den Rejekten der Sortier- und Cleaner-Stufen wurde von 0,64 % bezogen eingesetztes Altpapier [7, 9] ausgegangen und in den Flotaten der Kreislaufwasserreinigung von 0,03 % bezogen eingesetztes Altpapier [9]. Nach dieser Abschätzung zeigt sich, dass der Hauptteil der spezifischen Langfaserverluste und der damit verbundenen zusätzlichen Kosten von 2,8 € / t Altpapier für den Rohstoffverbrauch und die Entsorgung mit 85 % in den Prozessstufen Sortierung / Cleanerung anfällt (Tabelle 11 und Abbildung 4).

Tabelle 11: Spezifische Langfaserverluste und damit verbundene zusätzliche Kosten für die Prozessstufen Flotation, Sortierung/Cleaner und Kreislaufwasserreinigung

	Spezifischer Gesamtverlust über die Prozessstufen	Spezifischer Langfaserverlust über die Prozessstufen	Spezifische Entsorgungskosten für den Langfaseranteil	Spezifische Rohstoffkosten für den Langfaseranteil	Spezifische Gesamtkosten für den Langfaseranteil
	kg / t Altpapier	kg / t Altpapier	€ / t Altpapier	€ / t Altpapier	€ / t Altpapier
Flotation	152	0,83	0,25	0,06	0,31
Sortierung/Cleaner	47	6,40	1,92	0,48	2,40
Wasserbehandlung	30	0,3	0,09	0,02	0,11
<b>Summe</b>	<b>229</b>	<b>7,53</b>	<b>2,26</b>	<b>0,56</b>	<b>2,82</b>

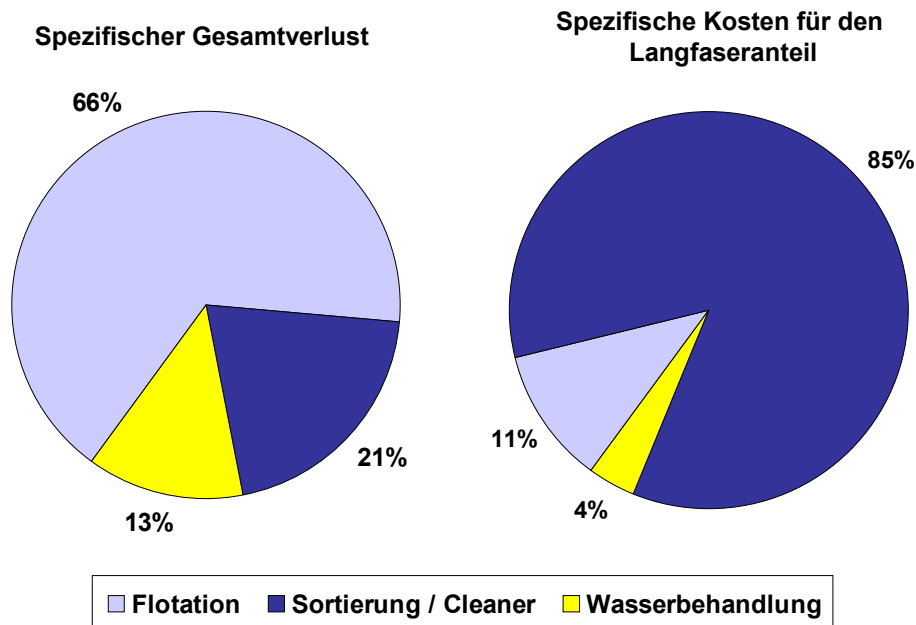


Abbildung 4: Spezifischer Gesamtverlust und damit verbundene Kosten für den Langfaserverlust für die Prozessstufen

Zur Bewertung unterschiedlicher Faserrückgewinnungsverfahren werden die im Rahmen eines an der Forschungsstelle durchgeführten Projektes erzielten Ergebnisse herangezogen [10]. Eine Vorauswahl von möglichen Trennaggregaten zur Auftrennung von Stofffängerflotaten und zur Anreicherung von Langfaserstoffen und weitere Technikumsversuche zeigten die Möglichkeiten einer Anreicherung der Langfaserfraktion mittels Cleaner. Der Langfaseranteil konnte von 4,9 % auf 10,8 % erhöht werden und der Anteil an Verunreinigungen und anorganischen Füllstoffen stark gesenkt werden. Eine nachfolgende Drucksortierung lieferte zusätzlich noch eine Verbesserung. Als bestes Ergebnis wurde ein Langfaseranteil von ca. 30 % erzielt. Allerdings war auch im Rahmen dieses Projektes die Schlussfolgerung, dass aufgrund der überraschend niedrigen Anteile an Langfasern in den Flotaten eine Trennung in einzelne Fraktionen bzw. eine direkte Abscheidung wenig sinnvoll erscheint.

Auch weitere beschriebene Fallstudien zur Trennung von Fasern und Füllstoffen aus Deinkingschlämmen nennen als Problem die Erzielung einer ausreichenden Trennschärfe [6, 13].

Für eine Behandlung der Flotate in einem Cleaner + Drucksortierer wurden die Kosten einer Behandlung berechnet [10]. Zugrunde gelegt wurde eine Papierproduktion von 175.000 t pro Jahr. Die erforderlichen Investitionen für Druckfilter und Cleaner sowie Installation wurden mit 41500 € veranschlagt.

Der Anteil an nicht von den Langfasern abgelösten Druckfarbenpartikeln würde bei einer Faserrückgewinnung aus den Deinkingflotaten noch eine zusätzliche Dispergierung mit vorgeschalteter Entwässerung sowie eine Abtrennung der abgelösten Druckfarbenpartikel durch z.B. anschließende Flotation erfordern. Dieser zusätzliche Aufwand macht bei den geringen Faserstoffanteilen eine Rückgewinnung der Faserstofffraktion aus Deinkingflotaten unwirtschaftlich.

Zusammenfassend lassen sich folgende Einschränkungen für eine Faserrückgewinnung aufzählen:

- Zu geringer Langfaseranteil und unzureichende Selektivität der Trennprozesse

- Starke Verunreinigungen im Langfaseranteil und damit erhöhte Aufwendungen für die Reinigung
- Dadurch steigende Investitions- und Betriebskosten z.B. für Energie
- Schlechtere Entwässerung der Rejekte bei verringertem Faseranteil und damit geringerer Trockengehalt
- Dadurch steigende Entsorgungskosten.

Die geringen Langfaserverluste in den heutigen Flotationdeinkinganlagen sind darauf zurückzuführen, dass die Rejekte der Primärflotation in einer Sekundärflotation zur Verringerung der Faserverluste nachbehandelt werden. Sollte eine Verringerung der Langfaserverluste angestrebt werden so durch Optimierung der Sekundärstufe oder durch eine weitere Behandlung des Sekundärkreislaufs der Flotation mit relativ geringem maschinellen Einsatz [14, 15, 16].

Agrund des geringen Anteils an Faserstoffen in den Flotaten der Deinkinganlagen kann eine weitere Reduzierung der Stoffverluste nur erzielt werden, wenn der Aschegehalt in den Flotaten verringert wird. Dies setzt eine Erhöhung des Aschegehalts im Fertigstoff voraus, was mit einer Beeinträchtigung der Produktivität an der Papiermaschine verbunden ist.

Eine Verringerung der Faserstoffverluste der Deinkinganlagen sollte vor allem in den Prozessstufen Sortierung und Cleanerung angestrebt werden [7, 9, 17, 18]. Dies könnte z.B. durch Reduktion der Rejektraten vor allem der letzten Stufe der Sortierung oder durch Erhöhung der Kapazität der Rejektsortierung in der letzten Stufe erzielt werden.

#### **Fazit:**

Aufgrund der geringen Anteile an Langfaserstoff in den Flotaten von Deinkinganlagen und der für die Reinigung von Verunreinigungen erforderlichen zusätzlichen Prozessstufen wird eine gezielte Aufbereitung der Flotate zur Faserrückgewinnung als unwirtschaftlich eingestuft. Falls erforderlich sollte eine Reduzierung der Faserverluste durch Erhöhung der Selektivität der einzelnen Trennaggregate angestrebt werden.

#### **4 Schlussfolgerungen**

Es wurde gezeigt, dass der **Faseranteil** in den Flotaten und Kreislaufwässern der Deinkinganlagen erfreulich gering ist. Mit über 95 % setzt sich der überwiegende Teil zusammen aus

- Füllstoffen
- Faserfeinstoffen
- Druckfarbenpartikeln
- Stickys
- und anderen organischen Partikeln wie z.B. Strichbindern.

Es konnte aufgezeigt werden, dass der Anteil an verwertbaren Fasern in den Reststoffen abgenommen hat.

Die Ergebnisse belegen, dass der Faseranteil in den Deinkingflotaten stark mit Druckfarben verunreinigt ist. In den Flotaten reichern sich zudem kleine Makrostickys an.

Über die Entwässerungsstufen können sich sowohl kleine Druckfarbenpartikel als auch potenzielle Sekundärstickys sowie Mikrostickys anreichern. Diese sollten vorwiegend in der Füllstoff- und Feinstofffraktion vorliegen und können im Flotat der Kreislaufwasserreinigung aufkonzentriert werden.

Basierend auf den spezifischen Langfaserverlusten und den dafür anfallenden Rohstoff- und Entsorgungskosten konnte aufgezeigt werden:

- die spezifischen Gesamtkosten die Langfaserverluste der Flotation sind gering
- der überwiegende Teil der Rohstoff- und Entsorgungskosten entfällt auf die darin enthaltene Füllstoff- und Feinstofffraktion
- der Hauptteil der spezifischen Langfaserverluste in der gesamten Deinkinganlage und der damit verbundenen Kosten ist in den Rejekten der Prozessstufen Sortierung / Cleanerung enthalten.

#### **Fazit:**

- Aufgrund der geringen Anteile an Langfaserstoff in den Flotaten von Deinkinganlagen und der hohen Gehalte an Druckfarbenpartikeln und Stickys wird ein für eine Faserrückgewinnung verwertbares Potenzial nicht gesehen.
- Die für eine Aufkonzentration und Reinigung des Langfaseranteils erforderlichen zusätzlichen Prozessstufen werden als unwirtschaftlich eingestuft.
- Eine Verringerung der Faserstoffverluste der Deinkinganlagen sollte vor allem in den Prozessstufen Sortierung / Cleanerung angestrebt werden, wobei eine Optimierung der Prozessbedingungen innerhalb der mehrstufigen Prozesse empfohlen wird.
- Eine Reduzierung der Stoffverluste in der Vor- und Nachflotation ist nur möglich, wenn eine Erhöhung des Aschegehalts im Fertigstoff akzeptiert wird.

Zur Verringerung des Abfallaufkommens in Deinkinganlagen sollten sich weitere Arbeiten vor allem auf die Abtrennung von Füllstoffen und Feinstoffen aus Deinkingrejekten und deren Verwertung konzentrieren.

Weitere Informationen: [e.hanecker@ptspaper.de](mailto:e.hanecker@ptspaper.de)

Autor:

Elisabeth Hanecker

PTS München

Heßstr. 134

80797 München

Tel. 089 - 12146495

Fax 089 - 1214636

#### **Danksagung**

Die mitgeteilten Ergebnisse wurden im Rahmen des von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF), Köln, geförderten Forschungsvorhabens AiF 14142 mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin, erarbeitet. Für die finanzielle Unterstützung sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

#### **Literatur**

- 1 Schuster H., Hanecker E. u. K. Renner  
Fortschritte bei der Deinkingtechnik und problematische Entwicklungen beim Rohstoff Altpapier

- Vortrag beim Internationalen Münchner Papiersymposium 2003 – Fortschritte bei der Papierherstellung, München 26. – 28. März 2003
- 2 Carré B. u. G. Galland  
Overview of deinking technology  
5th Advanced Training Course on Deinking Technology; 03.27.-03.29.2001; Grenoble. CTP; Grenoble(Hrsg.); Grenoble: Centre Technique du Papier (CTP) 2001
  - 3 Jung H., Demel I. u. B. Götz  
Aufkommen und Verbleib der Rückstände aus der deutschen Papierindustrie – Ergebnisse der Rückstandsumfrage 2004  
Wochenblatt für Papierfabrikation 134, 482 – 484 (2006), Nr. 9
  - 4 Bienert Ch. u. Hanecker E.  
Utilisation of deinking mill residues in the year 2000  
INGEDE Abschlussbericht 7601 PTS, München 2003
  - 5 Hanecker E.  
Characterisation of recycled fibre pulps by comparative studies in INGEDE member companies (Part 3)  
INGEDE Abschlussbericht 7701 PTS, München 2003
  - 6 Hanecker E.  
Möglichkeiten zur Abtrennung von Füllstoffen und Pigmenten aus Deinkingstoffen und zu ihrer weiteren stofflichen Verwertung / Reststoffverwertung Teil 2,  
INGEDE Abschlussbericht 33 03 PTS, München 2003
  - 7 Perrin P. und F. Julien-Saint-Amand  
Deinking rejects analysis in newsprint and copy paper mills  
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2006, PTS Symposium: DE 604
  - 8 Bienert Ch.  
Reduzierung von Faserverlusten und Einsparungen von Entsorgungskosten durch Optimierung der Aufbereitung von Altpapier für die Erzeugung von graphischen Papieren mittels Prozesssimulation  
München: Papiertechnische Stiftung (PTS) 2005  
PTS-Forschungsbericht AiF 13355
  - 9 Bienert Ch.  
Optimierung mittels Prozesssimulation als Werkzeug zur Reduzierung von Faserstoffverlusten und Einsparung von Entsorgungskosten bei der Aufbereitung von Altpapier zur Erzeugung graphischer Papiere  
München, März 2005  
Homepage der PTS: [www.pstpaper.de](http://www.pstpaper.de)
  - 10 Kappen J. und L. Hamann  
Entwicklung eines fraktionierenden Verfahrens zum Wiedereinsatz von Faserreststoffen in mehrlagigen Verpackungspapieren und Karton  
Abschlussbericht BMWI 1208-03, München Februar 2006
  - 11 Klein R., Schulte U. und E. Hanecker  
Stand und Entwicklungstrend der messtechnischen Bewertung von optischen Inhomogenitäten als Grundlage einer Prozessbeurteilung und –optimierung  
Wochenblatt für Papierfabrikation 7 (2006) 350-358
  - 12 Menke L.



- Nur Kosten, Aufwand und Gebühren? Kosteneffizienz eines Rejekt-Handlingsystems für eine Deinking-Papierfabrik mit 1000 t/d Produktionskapazität  
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2006, PTS Symposium: DE 604
- 13 Dorica J. u. J. Simandl  
Separation of fiber and ash in deinking effluents: a case study  
Tappi Journal 78, 109-116 (1995)
- 14 Britz H.  
Flotationsdeinking - eine Schlüsseltechnologie fuer Weisse und Sauberkeit  
Das Papier 51; 514 - 519 (1997); Nr.10; 12 Abb.; 1 Lit.
- 15 Gabl H., Waupotitsch M. und E. Hertl  
Erhöhung der Ausbeute bei der Erzeugung von Deinkingstoff durch den Einsatz des CleanFlot™ Systems  
11. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2004, PTS Symposium: DE 404
- 16 Serres A.  
CellOne: Ein neues modulares Konzept für Deinkingzellen großer und kleiner Kapazitäten mit erhöhtem Leistungsvermögen und neuen Vorzügen  
11. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2004, PTS Symposium: DE 404
- 17 Schweiß P., Rienecker R., Respondek P. u. S. Schabel  
Sortierung – ein Werkzeug zur Sticky-Entfernung  
Twogether – 4 (1997) 22 - 29
- 18 Bätz E.  
Moderne Sortierkonzepte in einer Stoffaufbereitung für graphische Papiere  
In: Bekämpfung und Vermeidung von Stickys für einen wirtschaftlichen Altpapiereinsatz  
L. Hamann und O. Cordier (Hrsg.)  
München: PTS 2005, PTS-Manuskript: PTS-MS-AP 525