

## **Titel**

# **REDUKTION DES ENERGIEEINSATZES DURCH OPTIMIERUNG DER PROZESSFÜHRUNG BEI DER ALTPAPIERAUFBEREITUNG IN DEINKINGANLAGEN DURCH DEN EINSATZ EINER FRAKTIONIERUNG**

E. Hanecker

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Charakterisierung der eingesetzten Altpapiere</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Untersuchungen unterschiedlicher Verfahrenskonzepte mit verschiedenen Altpapieren und Altpapierstoff aus einer Deinkinganlage</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Überprüfung der abgeleiteten Konzepte unter Berücksichtigung des Sticky-Austrags an einem industriellen Altpapierstoff</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Optimale Prozessführung in Abhängigkeit von den eingesetzten graphischen Altpapiersorten</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>	<b>25</b>

## 1 Zusammenfassung

Thema	Reduktion des Energieeinsatzes durch Optimierung der Prozessführung bei der Altpapieraufbereitung in Deinkinganlagen durch den Einsatz einer Fraktionierung.
Zielstellung	Das Projekt verfolgte als Hauptziel eine Optimierung der Prozessführung in Deinkinganlagen bei Sicherstellung der Qualität des Deinkingstoffs und verringerten Kosten. Durch den Einsatz einer Fraktionierung und einer Dispergierung ausschließlich eines Teilstroms nach einer effektiven Vorsortierung und vor der Vorflotation soll der Energieeinsatz reduziert werden. Hauptaugenmerk lag auf der Verbesserung der Druckfarbenablösung durch eine Dispergierung nur des Teilstroms (Langfaserfraktion) mit hohem Anteil an nicht abgelösten Druckfarbenpartikeln. Neben der Energieeinsparung bei der Dispergierung soll durch die verbesserte Druckfarbenablösung eine effektive und selektive Entfernung in der darauf folgenden Flotation sichergestellt werden. Dies bietet die Möglichkeit, auf eine 2. Flotationsstufe zu verzichten und damit die Ausbeute zu erhöhen.
Ergebnisse	<p>Es konnte gezeigt werden, dass nach der Zerfaserung durch die Prozessstufe Fraktionierung kleine abgelöste Druckfarbenpartikel in der Kurzfaserfraktion und nicht abgelöste und große Druckfarbenpartikel in der Langfaserfraktion angereichert werden. Durch Behandlung der Langfaserfraktion im Disperger werden diese Druckfarbenpartikel abgelöst und fragmentiert. Die erzielten Weißgrade waren geringfügig niedriger für ein Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung sowie nachgeschalteter Flotation des Gesamtstoffs im Vergleich zu einem Konzept mit zwei Flotationskreisläufen (2-Loop System), allerdings bei geringeren Verlusten. Bei höherem Schmutzpunktanteil im Ausgangsstoff war die Schmutzpunktfäche für ein Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung im Vergleich zu einem 2-Loop System höher. Die Anreicherung von Makrostickys in der Langfaserfraktion erfordert eine effiziente Reduzierung von Makrostickys entweder der Langfaser vor der Dispergierung oder des Gesamtstoffs vor der Fraktionierung.</p> <p>Es konnten Möglichkeiten und Potenziale zur Prozessvereinfachung in Altpapieraufbereitungsanlagen für graphische Altpapiere aufgezeigt werden.</p>
Schlussfolgerung	Für eine effektive Schmutzpunktreduzierung sind nach einer Fraktionierung weitere Behandlungsschritte für die Langfaserfraktion notwendig, wie eine Flotation des Teilstroms oder eine zusätzliche Dispergierung. Auch durch diese zusätzliche Teilstrombehandlung können Energiekosten und Altpapierkosten im Vergleich zu einem zweistufigen Flotationskreislauf eingespart werden.

Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

Kenntnisse zur optimalen Aufbereitungstechnologie für graphische Altpapiere zeigen den Altpapier verarbeitenden Papierfabriken neue Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieeinsatzes und zur Steigerung der Ausbeute und damit Kosteneinsparung. Ingenieurbüros und Berater können diese im Rahmen ihrer Beraterleistung umsetzen. Anlagenbauern bieten sie neue Systemlösungen, die bei der Planung von Neu- und Umbaumaßnahmen angewandt werden können.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF 16025N der AiF-Forschungsvereinigung PTS wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten deutschen Firmen für die Probenbereitstellung und für die freundliche Unterstützung bei der Projektdurchführung.

## 2 Abstract

Theme

Reduced energy input through process design optimisation of recovered paper treatment in deinking plants based on the use of a fractionation stage

Project objective

Main aim of this project was the process design optimisation of deinking plants to save costs without quality losses in the deinked pulp. The energy input was to be reduced by means of a fractionation stage and the disperging treatment of only one partial flow downstream of an efficient pre-screening stage and upstream of the pre-flotation process. The focus was on improving the ink detachment by disperging only the partial flow (long fibre fraction) containing a high share of non-detached ink particles. Besides energy savings during disperging, the improved detachment of ink particles was to ensure the efficient and selective removal of these particles by the subsequent flotation process. This makes it possible to dispense with a second flotation stage, thus increasing the process yield.

---

**Results**

It could be demonstrated that the fractionation stage leads to small, detached ink particles accumulating in the short fibre fraction and non-detached, large ink particles accumulating in the long fibre fraction after defibration. These ink particles are detached and fragmented by the dispersing treatment of the long fibre fraction. The brightness levels achieved by the concept comprised of separation and partial flow dispersing with downstream flotation of the total stock were slightly lower than those achieved by means of two flotation loops (two-loop concept), but losses were smaller for the first concept. In the case of initial stocks with higher dirt content, the dirt speck area was larger for the concept comprised of separation and partial flow dispersing as compared to the two-loop concept. The accumulation of macrostickies in the long fibre fraction requires an efficient macrosticky reduction either in the long fibre fraction ahead of dispersing, or in the overall stock ahead of fractionation.

The project has shown possibilities and potential for simplifying the processes of recovered paper treatment plants for sorted graphics for deinking.

---

**Conclusions**

An efficient dirt speck reduction requires further treatment steps of the long fibre fraction downstream of the fractionation stage, for example flotation of the partial flow or additional dispersing. As compared to the two-loop flotation concept, the additional treatment of a partial flow can save energy and recovered paper costs.

---

**Economic  
relevance of this  
research subject  
for small and  
medium enter-  
prises (SME)**

Findings about the optimum treatment technology of sorted graphics for deinking open up new opportunities for paper recycling mills to reduce the energy input and increase the yield of their processes for cost reduction. Engineering offices and consultants can implement these findings via their consulting services. Plant engineering and construction firms can derive new system solutions that can be applied when planning new and reconstructing existing plant systems.

---

**Acknowledgement**

The IGF 16025N research project of the AiF research association PTS was funded within the programme of promoting “pre-competitive joint research (IGF)” by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi and carried out under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF) in Cologne. We would like to express our warm gratitude for this support.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

We would also like to express our thanks to the involved German companies for providing proper samples as well as for supporting the project performance.

**3 Einleitung**

Altpapier-Einsatz	Die Bundesrepublik Deutschland nimmt mit einer Altpapiereinsatzquote von 71 % in Europa eine Spitzenstellung ein [1]. Eine weitere Steigerung ist nur bei höherwertigen grafischen Papieren möglich. Der Altpapiereinsatz bei graphischen Papieren setzt die Druckfarbenentfernung in Deinkinganlagen voraus.
Qualität von Altpapier	Veränderungen der Druckerzeugnisse wie die Zunahme des Mehrfarbendrucks und der Druckfarbenmenge führten dazu, dass sich der Wirkungsgrad bei der Druckfarbenentfernung verschlechtert hat [2].
Auswirkungen der Verschlechterung der Altpapierqualität	Die Verschlechterung der Altpapierqualität hat dazu geführt, dass Deinkinganlagen über die Jahre immer komplexer wurden [2, 3]. Es ist üblich geworden, Anlagen mit zwei Flotationsstufen (2-Loop-Systeme) auszustatten, weil die zwischengeschaltete Dispergierung noch Druckfarben ablöst.

Kostensteigerung durch Komplexität der Anlagen

Mit der Komplexität der Anlagen steigen die Kosten. Setzt man die Kosten für eine Basisanlage als 100 % an, erhält man für eine Anlage mit einem zweiten Flotationskreislauf folgenden relativen Kostenanstieg [3]:

Kostenblock	Kostenverhältnis für Anlagen mit	
	1 Kreislauf	2 Kreisläufen
Rohstoff	100%	105%
Reststoffentsorgung	100%	130%
Energie	100%	127%
Abschreibungen / Instandhaltung	100%	145%

Kosten der Altpapier-aufbereitung

Die Kosten zur Aufbereitung graphischer Altpapiere in Deinkinganlagen für den Einsatz bei graphischen Papieren teilen sich in etwa wie folgt auf [3]:

- 40 bis 55 % Rohstoff
- 9 bis 18 % Hilfsmittel
- 3 bis 8 % Personal
- 8 bis 11 % Reststoffentsorgung
- 9 bis 15 % Energie
- 12 bis 19 % Abschreibungen und Instandhaltung.

Rohstoff Altpapier

Altpapier ist mit Abstand der größte Kostenblock. Die steigende Bedeutung von Holz zur Energieerzeugung und damit verbundene Holzknappheit und Preiserhöhungen werden den Bedarf an Altpapier als Rohstoff zur Papiererzeugung weiter steigern. Dies wird sich auf die Preisentwicklung für Altpapier auswirken. Mehr denn je wird es notwendig, das verfügbare Altpapier effektiver zu nutzen.

Preisentwicklung Energie

In letzter Zeit sind vor allem die Kosten für Energie und Reststoffentsorgung erheblich gestiegen. Die Bestrebungen zur Verringerung der Globalen Erwärmung und die damit einhergehende geforderte CO<sub>2</sub>-Reduzierung lassen für den Kostenfaktor Energie weitere dramatische Preissteigerungen erwarten. Daher tritt das Thema Energieeinsparung immer stärker in den Vordergrund.

Neue Wege in der Altpapieraufbereitung

In der jüngsten Vergangenheit zeigen neue Installationen und Konzepte Bestrebungen, wieder zu kompakteren und damit wirtschaftlicheren Systemen zurückkehren zu können [3, 4, 5, 6, 7, 8]. So wurde in einer Deinking-Anlage das Konzept der Fraktionierung aufgenommen und in den Prozess integriert [4].

Forschungsbedarf

Um dem Trend steigender Kosten bei der Altpapieraufbereitung entgegenzuwirken, besteht der Bedarf, geeignetes Altpapier in Anlagenkonzepten, die mit geringem Energieverbrauch und hoher Ausbeute Deinkingstoff hoher Qualität produzieren, aufzubereiten. Forschungsbedarf besteht daher zur Optimierung der Prozessführung angepasst an die jeweilige Altpapiermischung durch den Einsatz einer Fraktionierung zur Verringerung des Energiebedarfs und der Abfallmenge.

---

Ziel Das Projekt verfolgt als Hauptziel eine Optimierung der Prozessführung in Deinkinganlagen bei Sicherstellung der Qualität des Deinkingstoffs und verringerten Kosten. Durch den Einsatz einer Fraktionierung und einer Dispergierung ausschließlich eines Teilstroms (Verfahrensstufe mit hohem Energieeintrag) nach einer effektiven Vorsortierung und vor der Vorflotation soll der Energieeinsatz reduziert werden.

---

#### 4 Versuchsdurchführung

Übersicht Folgendes Schema gibt eine Übersicht über die Arbeitsschritte:



**Abb. 1: Übersicht über die Arbeitsschritte**

Nach Charakterisierung der Altpapiersorten wurde die Vorgehensweise zur Fraktionierung festgelegt. Umfangreiche Untersuchungen verschiedener Prozessstufen lieferten Kenntnisse zum Verlauf des Druckfarbenanteils für die unterschiedlichen Prozessstufen je Altpapiersorte. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse wurden in Abhängigkeit vom eingesetzten Rohstoff Druckfarbenablösung, Zerkleinerung und Druckfarbenentfernung nach unterschiedlichen Verfahrensstufen miteinander verglichen und bewertet. An Stoffen aus einer Praxisanlage erfolgte die Bewertung einer Prozessvereinfachung hinsichtlich erforderlicher Trennstufen zum Austrag von Stickys. Basierend auf den Ergebnissen wurden Konzepte zum optimalen Druckfarbenaustrag bei minimalem Energiebedarf und Verlusten abgeleitet.

---

Verfahren zur Stoffcharakterisierung

Die folgenden Messmethoden wurden angewandt:

Parameter	Methode
• Stoffdichte	DIN ISO 4119
• Laborblattbildung	INGEDE Methode 1 (45 g/m <sup>2</sup> )
• Nutschenblattbildung	IINGEDE Methode 1
• Weißgrad R <sub>457-UV</sub>	DIN 53 145-T01 (04.92)
• Hellbezugswert Y	DIN 53 140 (07.92)
• L*,a*,b* - Werte	DIN 6174-79
• Reflexionsfaktor R <sub>∞0</sub>	INGEDE Methode 2
• Gehalt an Druckfarben	PTS Domas
• Gehalt an Makrostickys	INGEDE Methode 4
• Gehalt an potenziellen Stickys	INGEDE Methode 6

Druckfarbenablösung

• Hyperwäsche	INGEDE Methode 5
---------------	------------------

Bewertung der Druckfarbenentfernung - Ink Elimination IE

Die Druckfarbenentfernung wurde aus den an Nutschenblättern der Stoffe ermittelten Reflexionsfaktoren R<sub>∞0,700</sub> nach INGEDE Methode 2 bestimmt.

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

UP = undeinkter Stoff

DP = deinkter Stoff

Bewertung der Druckfarbenablösung - Ink Detachment ID

Die Druckfarbenablösung (Ink Detachment ID) wurde aus den an den Nutschenblättern der Stoffproben und der hypergewaschenen Stoffproben ermittelten Reflexionsfaktoren R<sub>∞0</sub> rechnerisch bestimmt.

$$ID_{Pulper} = \frac{\left[ \frac{(1-R_{\infty,UP})^2}{R_{\infty,UP}} - \frac{(1-R_{\infty,HW-UP})^2}{R_{\infty,HW-UP}} \right]}{\left[ \frac{(1-R_{\infty,UP})^2}{R_{\infty,UP}} \right]} \times 100 \text{ [%]}$$

UP = Stoff nach Zerkleinerung

HW-UP = hypergewaschener Stoff nach der Zerkleinerung



Bewertung der Druckfarbenablösung durch Dispergierung

Die Bewertung der Druckfarbenablösung durch Dispergierung erfolgte an den hypergewaschenen Stoffen vor und nach der Dispergierung nach folgender Formel:

$$ID_{\text{Disp.}} = \frac{\left[ \frac{(1 - R_{\infty, \text{HW-D-I}})^2}{R_{\infty, \text{HW-D-I}}} - \frac{(1 - R_{\infty, \text{HW-D-A}})^2}{R_{\infty, \text{HW-D-A}}} \right]}{\left[ \frac{(1 - R_{\infty, \text{HW-D-I}})^2}{R_{\infty, \text{HW-D-I}}} \right]} \times 100 \text{ [%]}$$

HW-D-I = Hypergewaschener Stoff vor Dispergierung

HW-D-A = hypergewaschener Stoff nach Dispergierung

Eingesetzte Altpapiersorten

Es wurden drei grafische Altpapiersorten untersucht:

- Deinkingware, Sorte 1.11,
- Holzhaltige Altpapiermischung,
- Sortiertes Büroaltpapier, Sorte 2.05,

Zusammensetzung der Altpapiersorten

Deinkingware: Mischung aus 50 % Zeitungen und 50 % ungestrichenen im Heatsetdruck bedruckten Illustrierten

Holzhaltige Altpapiermischung: Mischung aus 50 % Zeitungen und 50 % Flüssigtonerdrucken auf holzfreiem gestrichenen und ungestrichenen Papier

Sorte 2.05: Beim sortierten Büroaltpapier handelte es sich um eine Mischung von mit Laserdruckern bedrucktem holzfreiem Büroaltpapier, Bestände der Forschungsstelle.

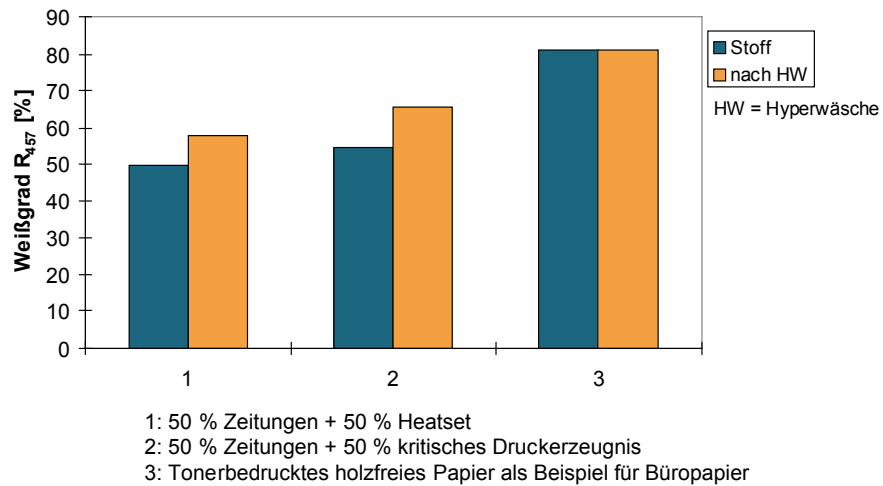
## 5 Charakterisierung der eingesetzten Altpapiere

Vorgehen

Im Rahmen des Projektes wurden drei grafische Altpapiersorten und ein Altpapierstoff aus einer Deinkinganlage untersucht. So wurde berücksichtigt, dass Druckfarbenablösung und Druckfarbenfragmentierung von der Zusammensetzung beeinflusst werden und die Bedingungen der weiteren Prozessschritte variieren können. Die Charakterisierung der Altpapiere umfasste die Bewertung der optischen Eigenschaften, der Druckfarbenablösung, die Bestimmung der Druckfarbenpartikel und Stickys. Die optimalen Fraktionierungsbedingungen wurden in Vorversuchen ermittelt.

Optische Eigenschaften der Altpapiersstoffe vor und nach einer Hyperwäsche – Weißgrade

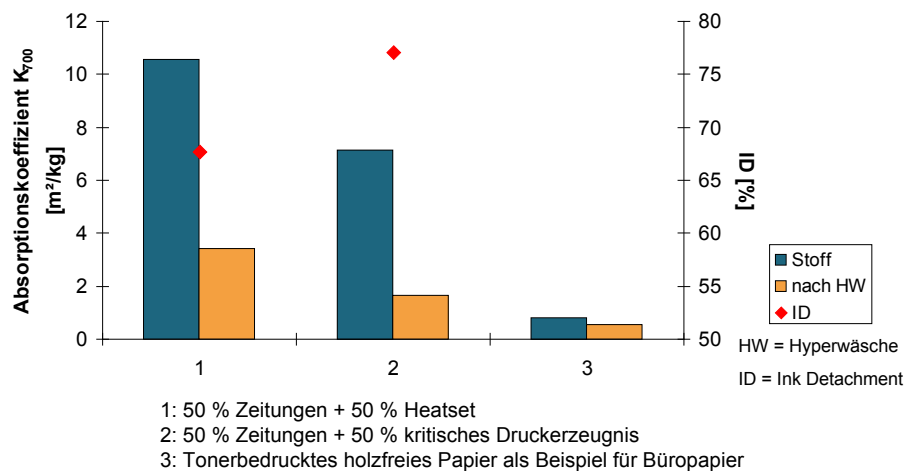
Wie nachfolgend dargestellt, erhöht sich der Weißgrad der Stoffe erwartungsgemäß mit steigendem Anteil holzfreier bedruckter Papiere (Probe 1 und 2). Durch die Hyperwäsche konnte der Weißgrad um 8 bzw. 11 %-Punkte erhöht werden. Das eingesetzte Büroaltpapier wies mit über 80 % einen hohen Ausgangsweißgrad auf, eine weitere Steigerung durch Hyperwäsche war nicht zu erwarten.



**Abb. 2: Weißgrade der Altpapierstoffe vor und nach einer Hyperwäsche**

Bewertung der Druckfarbenablösung

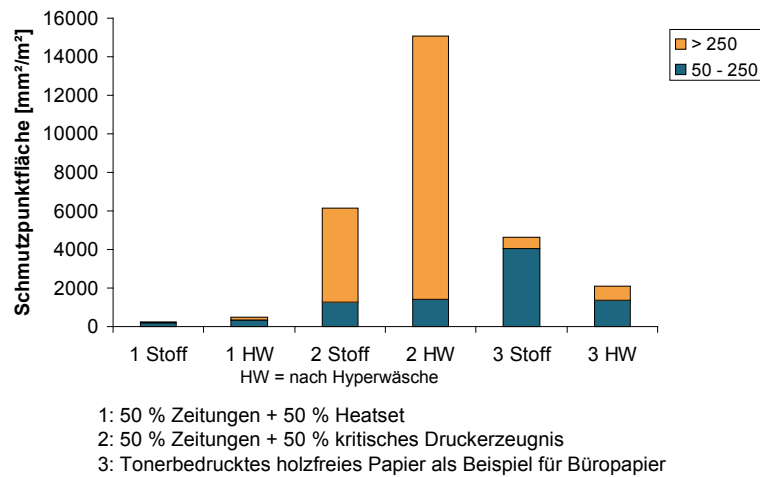
Der Absorptionskoeffizient  $K_{700}$  liefert Informationen zum Anteil kleiner Druckfarbenpartikel. Ein hoher Wert deutet auf hohen Anteil hin. Den höchsten Anteil kleiner Druckfarbenpartikel weist Deinkingware (1) auf (Abb. 3). Der Ersatz des Magazinanteils durch den Flüssigtonerdruck mit der Bildung großer Schmutzpunkte verringert den Anteil kleiner Partikel. Bei Einsatz von Büroaltpapier ist der Anteil kleiner Druckfarbenpartikel niedrig und damit auch der Weißgrad entsprechend hoch (Abb. 2). Durch Hyperwäsche können kleine Druckfarbenpartikel gut entfernt werden. Die Kenngröße Ink Detachment ID zeigt die gute Druckfarbenablösung bei den holzhaltigen Altpapieren.



**Abb. 3: Absorptionskoeffizient  $K_{700}$  der Altpapierstoffe vor und nach einer Hyperwäsche und Druckfarbenablösung (ID)**

Bestimmung der Druckfarbenpartikel

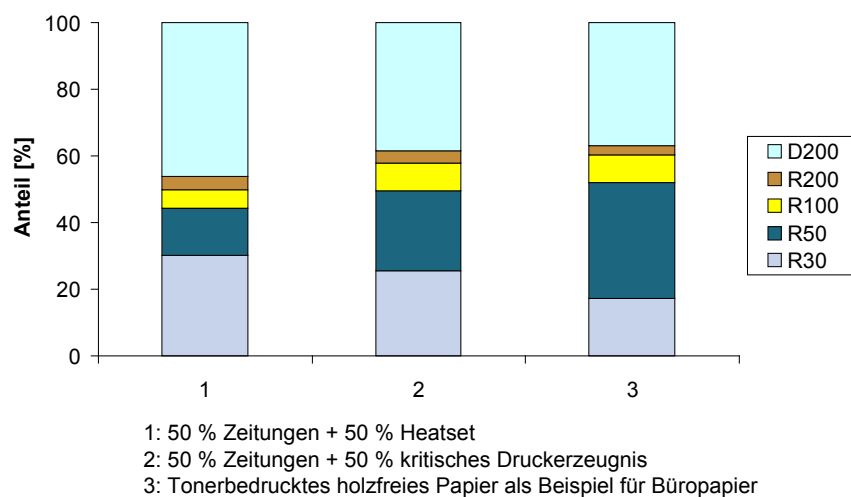
Die Bestimmung der Druckfarbenpartikel vor und nach der Hyperwäsche zeigt deutlich die Unterschiede der eingesetzten Altpapiere auf (Abb. 4). Die Mischung mit Flüssigtoneer wies einen hohen Anteil an Druckfarbenpartikel > 250 µm auf. Durch die Hyperwäsche wurden diese Druckfarbenpartikel aufkonzentriert. Bei den Büroaltpapieren konnte ein Teil der Druckfarben < 250 µm durch Hyperwäsche entfernt werden, die Druckfarben sind demnach von den Fasern abgelöst.



**Abb. 4: Schmutzpunktfäche der Altpapiermischungen**

Charakterisierung der Faserstoffverteilung

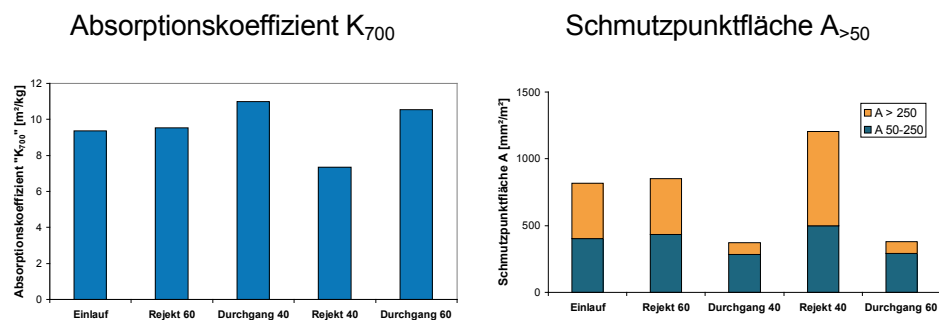
Die Altpapiermischungen wurden hinsichtlich ihrer Faserstoffverteilung mit dem McNett-Fraktionator charakterisiert. Mit zunehmendem Anteil holzfreier Papiere steigt der Langfaseranteil. Die Ergebnisse zeigt nachfolgende Abb. 5. Aus dem Verhältnis Langfaser- (R30 + R50) zu Kurzfasernfraktion (R100 + R200 + D200) kann abgeleitet werden, dass für die Fraktioniersuche die Rejektrate im Bereich 40 – 60 % liegen muss.



**Abb. 5: Faserstoffverteilung**

Festlegung der Vorgehensweise bei der Fraktionierung

Die Untersuchungen wurden mit einem Drucksortierer bei einer Stoffdichte von 1,2 % durchgeführt. Zum Einsatz kam eine Schlitzplatte mit einer Schlitzweite von 0,15 mm und einem Durchsatz von 300 l/min. Die Umfangsgeschwindigkeit betrug 10 m/sec. Die Rejektrate wurde im Bereich 40 bis 60 % variiert. In Abb. 6 sind der Absorptionskoeffizient  $K_{700}$  als Kenngröße für den Anteil kleiner Druckfarbenpartikel und die Schmutzpunktfläche  $A > 50$  und  $250 \mu\text{m}$  für Deinkingware bei einer Rejektrate von 60 % und 40 % dargestellt. Bei der niedrigeren Rejektrate und dem damit einhergehenden Massenstrom von 50,6 % stellte sich hinsichtlich der Druckfarbenanteile eine bessere Trennschärfe ein als bei der höheren Rejektrate und dem Massenstrom von 67,9 %.



**Abb. 6: Optische Eigenschaften der Fraktionen**

Fazit

Entsprechend der Ergebnisse wurde für die weiteren Versuche die Rejektrate auf 40 % festgelegt, um alle abgelösten kleinen Druckfarbenpartikel in der Kurzfasersfraktion und große Druckfarbenpartikel im Rejekt anzureichern.

## 6 Untersuchungen unterschiedlicher Verfahrenskonzepte mit verschiedenen Altpapieren und Altpapierstoff aus einer Deinkinganlage

Vorgehen

Folgende Verfahrenskonzepte wurden untersucht:

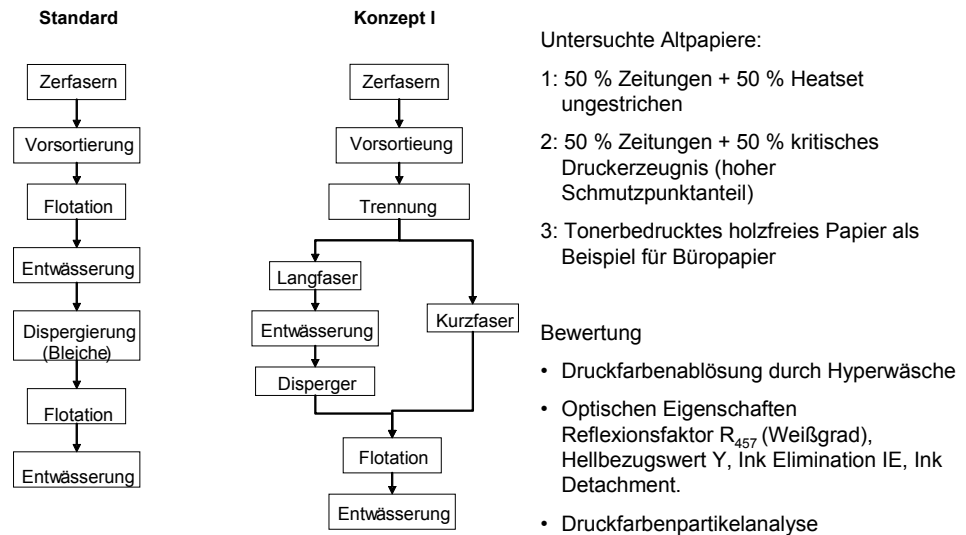
Standardverfahren für eine Anlage mit zwei Flotationskreisläufen (2-Loop System).

Konzept I: Einsatz einer Fraktionierung und Teilstrombehandlung der Langfaserfraktion vor der Vorflotation.

Charakterisiert wurden die optischen Eigenschaften und die Druckfarbenablösung.

Untersuchung unterschiedlicher Altpapiere

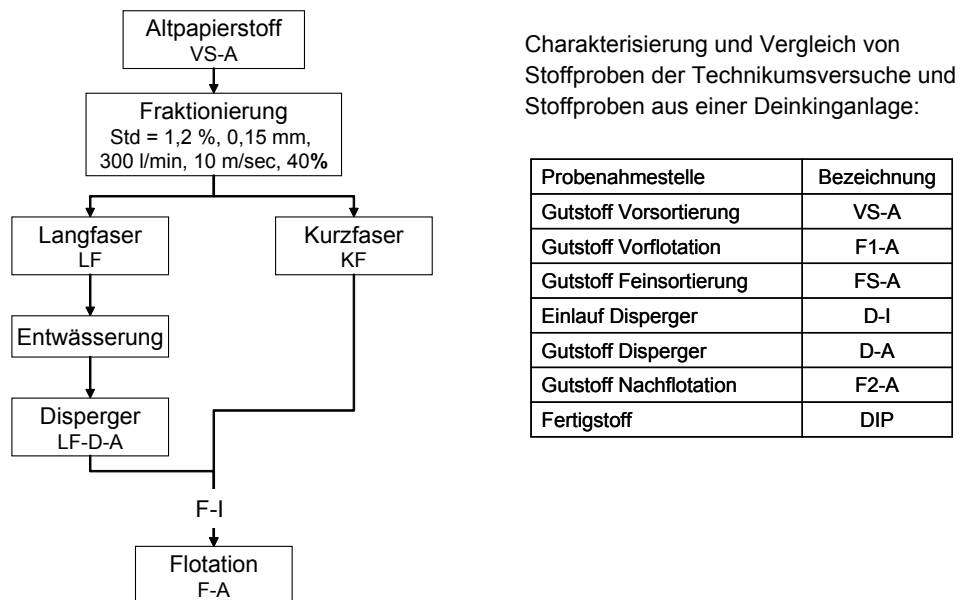
Für die drei verschiedenen Altpapiere wurden Versuche nach einem Standardprozess und einem Konzept mit Fraktionierung durchgeführt.



**Abb. 7: Bewertung der Konzepte mit unterschiedlichen Altpapieren**

Untersuchung von Altpapierstoff

Die Prozesskonfiguration mit Fraktionierung wurde an einem Altpapierstoff aus einer Deinkinganlage überprüft. Die Beurteilung einer veränderten Prozessführung zur Druckfarbenentfernung im Vergleich zum Standardverfahren erfolgte durch Charakterisierung von Stoffproben wesentlicher relevanter Prozessstufen der Deinkinganlage.

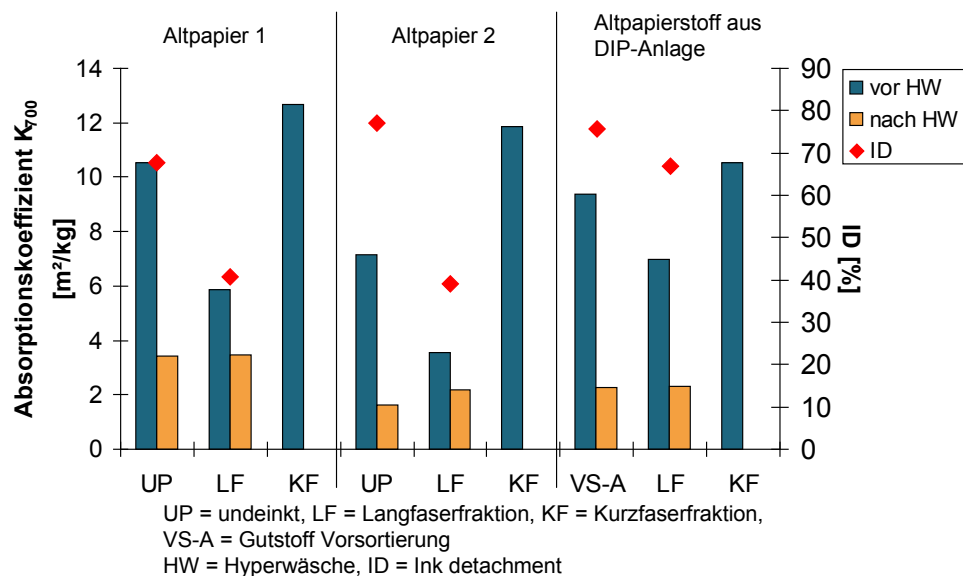


**Abb. 8: Vorgehensweise zur Beurteilung einer veränderten Prozessführung an einem industriellen Altpapierstoff**

**Bewertung** Auf der Grundlage der Ergebnisse erfolgte ein Vergleich der untersuchten Verfahrensabläufe. In Anhängigkeit vom eingesetzten Rohstoff wurden die Druckfarbenablösung, -zerkleinerung und Druckfarbenentfernung nach den unterschiedlichen Verfahrensstufen miteinander verglichen.

**Fragestellungen** Folgende Fragestellungen waren zu beantworten:  
 Können durch Fraktionierung die nach der Zerkleinerung nicht abgelösten und großen Druckfarbenpartikel ausreichend in der Langfaserfraktion angereichert werden?  
 Lassen sich die Druckfarbenpartikel durch Behandlung der Langfaserfraktion im Disperger ausreichend ablösen? Wie wirkt sich die Dispergierung auf das Partikelspektrum aus?  
 Führen eine Zusammenführung der Fraktionen und eine gemeinsame Flotationsstufe zu optimalem Druckfarbenaustrag?

**Druckfarbenanteil I und Druckfarbenablösung vor und nach Fraktionierung** Zur Fragestellung, ob durch Fraktionierung die nicht abgelösten und großen Druckfarbenpartikel ausreichend in der Langfaserfraktion angereichert werden können, wurden die Stoffe vor der Trennung und nach der Trennung die Langfaserfraktion einer Hyperwäsche unterzogen. Die Reduzierung des K-Wertes der Langfaserfraktion und die Erhöhung des K-Wertes der Kurzfaserfraktion zeigen, dass kleine Druckfarbenpartikel in der Kurzfaserfraktion angereichert werden. Die durch Hyperwäsche an der Langfaserfraktion ermittelte Druckfarbenablösung ID ist niedriger als die am Gesamtstoff ermittelte Druckfarbenablösung ID.

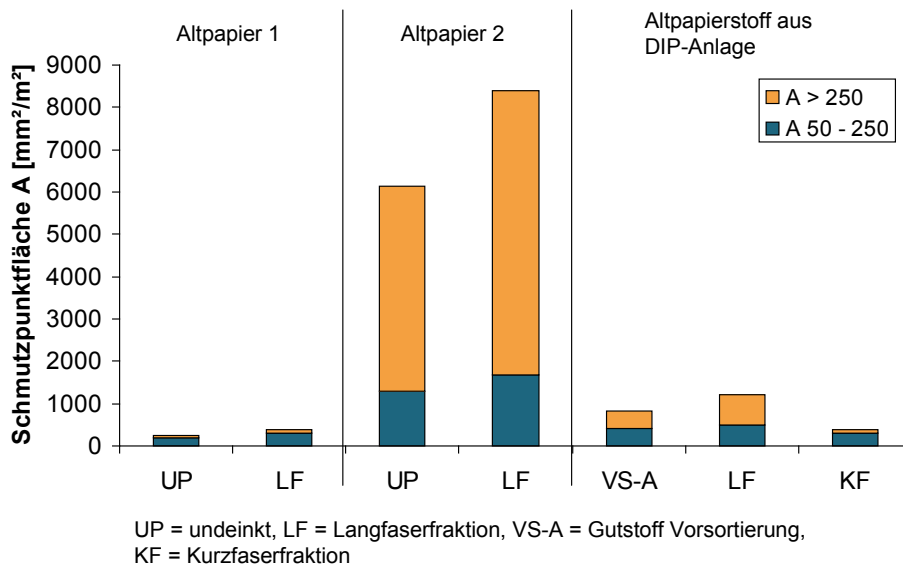


**Abb. 9: Druckfarbenanteil ( $K_{700}$ ) und Druckfarbenablösung (ID) der Stoffe vor und nach Trennung**

Altpapier 1: 50 % Zeitungen + 50 % Heatsetdruck ungestrichen  
 Altpapier 2: 50 % Zeitungen + 50 % kritisches Druckerzeugnis

Schmutzpunktläche vor und nach Fraktionierung

Die Schmutzpunktläche der Stoffe vor und nach Trennung belegt, dass in der Langfaserfraktion große Schmutzpunkte angereichert werden.



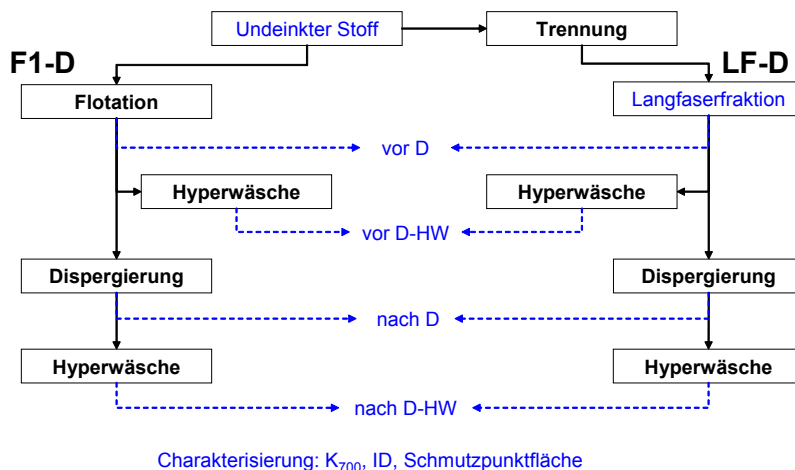
**Abb. 10: Schmutzpunktläche der Stoffe vor und nach Trennung**  
 Altpapier 1: 50 % Zeitungen + 50 % Heatsetdruck ungestrichen  
 Altpapier 2: 50 % Zeitungen + 50 % kritisches Druckerzeugnis

Fazit zur Fraktionierung

Es konnte aufgezeigt werden, dass durch eine Fraktionierung kleine Druckfarbenpartikel in der Kurzfaserfraktion und große sowie nicht abgelöste Druckfarbenpartikel in der Langfaserfraktion angereichert werden.

Verfahrensablauf zur Bewertung der Dispergierung

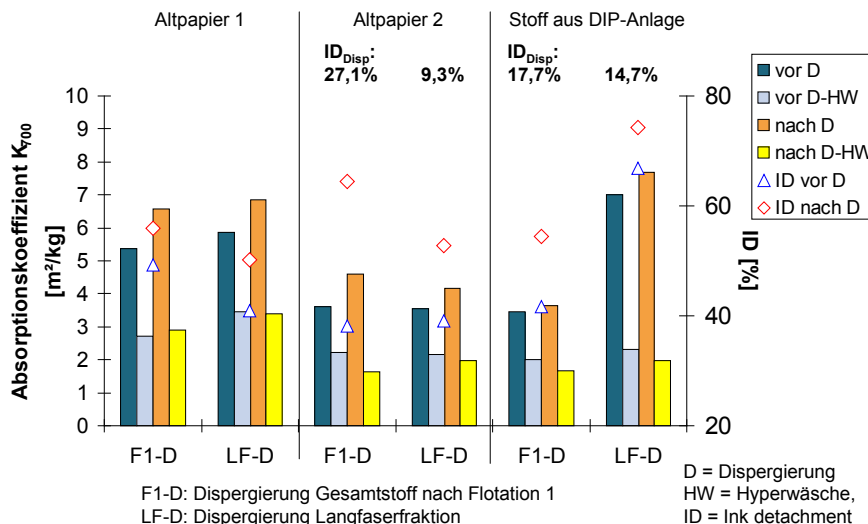
Zur Bewertung der Dispergierung wurden die Stoffe vor und nach Dispergierung einer Hyperwäsche unterzogen.



**Abb. 11: Verfahrensablauf und Probenbezeichnungen zur Bewertung der Dispergierung**

Bewertung der Druckfarbenablösung durch Dispergierung

Durch Dispergierung erhöht sich der Druckfarbenanteil ( $K_{700}$ ). Dies ist auf die Fragmentierung der Druckfarbenpartikel durch Dispergierung zurückzuführen. Mit einer Ausnahme wird der Druckfarbenanteil des hypergewaschenen Stoffs nach der Dispergierung verringert und die Kenngröße Druckfarbenablösung erhöht.

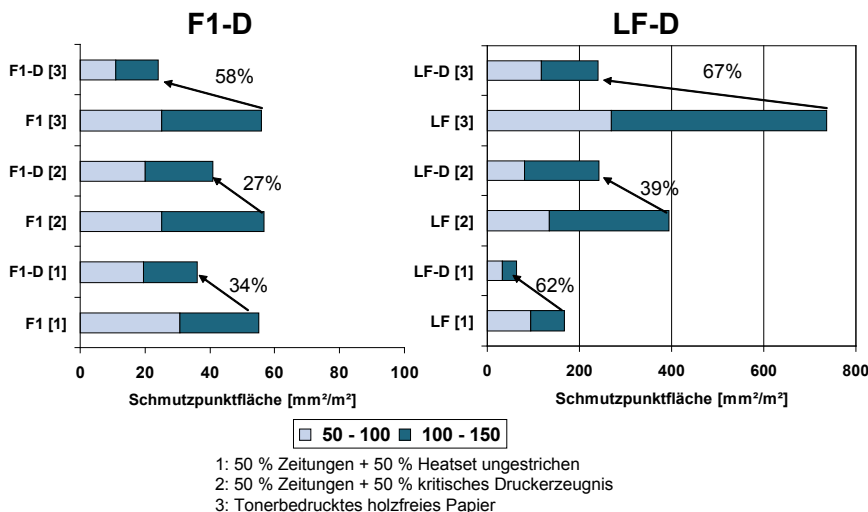


**Abb. 12: Druckfarbenanteil ( $K_{700}$ ) und Druckfarbenablösung (ID) der Stoffe vor und nach Hyperwäsche**

Altpapier 1: 50 % Zeitungen + 50 % Heatsetdruck ungestrichen  
 Altpapier 2: 50 % Zeitungen + 50 % kritisches Druckerzeugnis

Anteil anhaftender Druckfarben in Anhängigkeit von der Dispergierung

Zur Bewertung der Druckfarbenablösung durch Dispergierung sind nachfolgend die Druckfarbenanteile im Größenklassenbereich 50 – 150  $\mu\text{m}$  der gewaschenen Stoffe vor und nach Dispergierung sowie die Reduzierung dargestellt. Es wird klar ersichtlich, dass durch die Dispergierung der Anteil anhaftender (also nicht durch Hyperwäsche entfernbarer Druckfarbenpartikel) verringert wird.



**Abb. 13: Druckfarbenanteil und Druckfarbenreduzierung der hypergewaschenen Stoffe vor und nach Dispergierung**



Bewertung der Druckfarbenfragmentierung durch Dispergierung

Die Druckfarbenfragmentierung durch Dispergierung wird aus der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung der Stoffe vor und nach Dispergierung klar ersichtlich. Das Größenspektrum verschiebt sich zu kleinen Partikeln. Die Ergebnisse für Deinkingware und den Altpapierstoff aus der Deinkinganlage sind in der Abbildung nicht mit aufgenommen. Es tritt der gleiche Effekt auf.

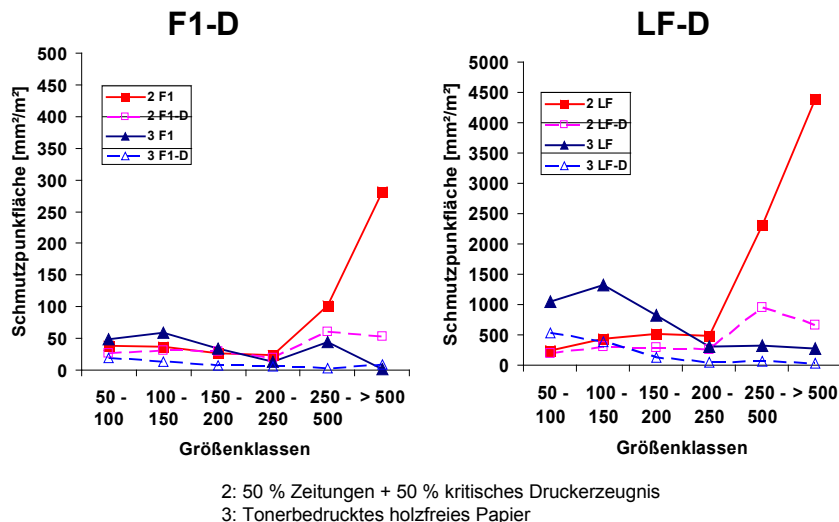


Abb. 14: Druckfarbenpartikelgrößenverteilung der flotierten Stoffe (F1) und der Langfaserfraktion (LF) vor und nach Dispergierung (D)

Änderung der Partikelgrößenverteilung durch Dispergierung

Mit zunehmendem Anteil an Druckfarben > 50 µm im Stoff vor der Dispergierung steigt auch der Anteil von Druckfarben < 50 µm in den Stoffen nach der Dispergierung. Klar ersichtlich wird auch der hohe Anteil großer Druckfarbenpartikel in der Langfaserfraktion (LF) im Vergleich zum flotierten Stoff (F1).

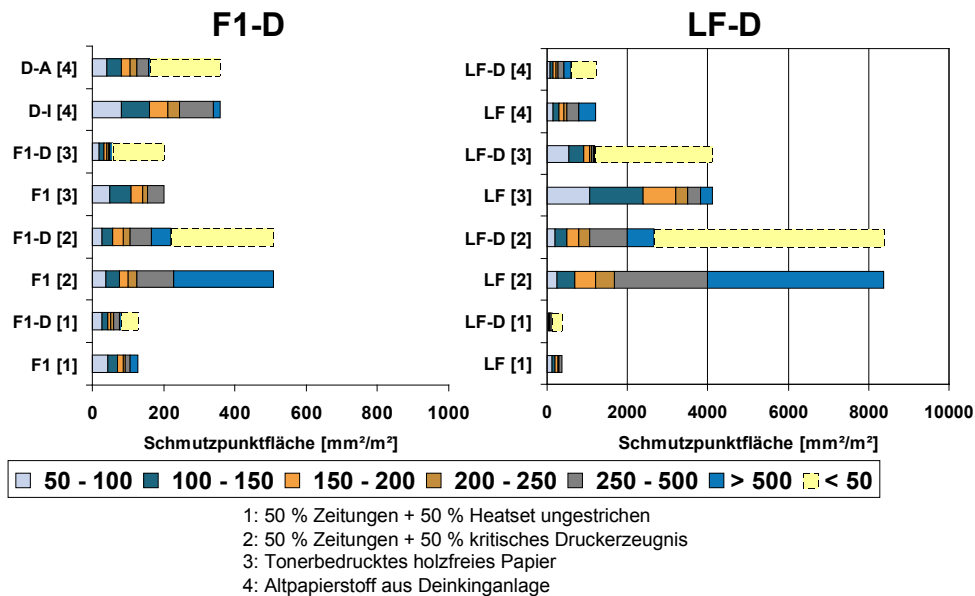


Abb. 15: Änderung der Partikelgrößenverteilung durch Dispergierung

Fazit zur Dispergierung

Es wurde bestätigt, dass eine Dispergierung die Druckfarbenablösung und Fragmentierung der Druckfarbenpartikel unterstützt. Dadurch erfolgt eine Verschiebung des Druckfarbenpartikelgrößenspektrums.

Wirkungsgrad unterschiedlicher Konzepte

Nachfolgend wird der Wirkungsgrad unterschiedlicher Konzepte für die drei untersuchten Altpapiere und den Altpapierstoff hinsichtlich der optischen Eigenschaften dargestellt. Folgende Konzepte werden betrachtet:

F1: Einstufiger Flotationskreislauf ohne Dispergierung

F1-D: Einstufiger Flotationskreislauf mit Dispergierung (1-Loop System)

F2: Zweistufiger Flotationskreislauf (2-Loop System)

F-A: Konzept mit Fraktionierung

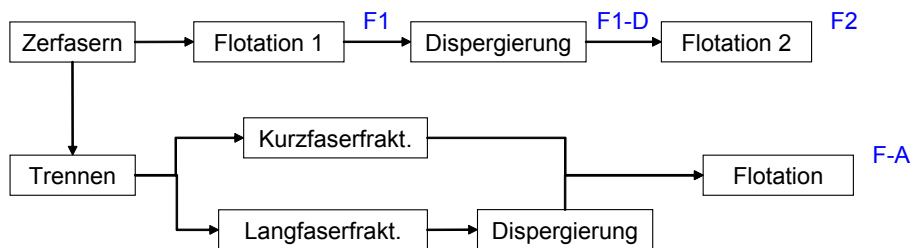


Abb. 16: Vergleich unterschiedlicher Konzepte

Wirkungsgrad unterschiedlicher Konzepte hinsichtlich Hellbezugswert Y

Weißgrad und Hellbezugswert sind nur geringfügig niedriger für das Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung im Vergleich zum 2-Loop System, aber höher im Vergleich zum 1-Loop System.

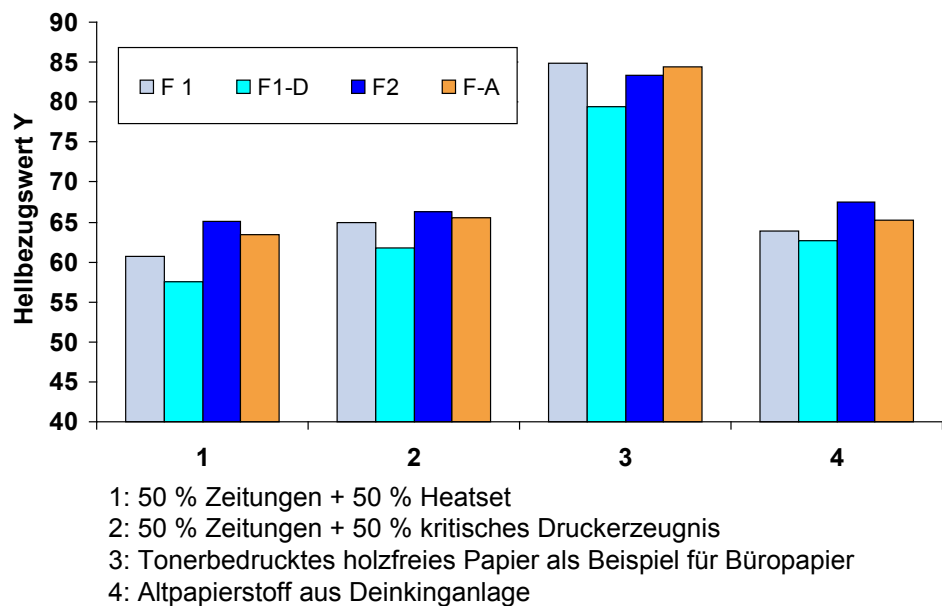
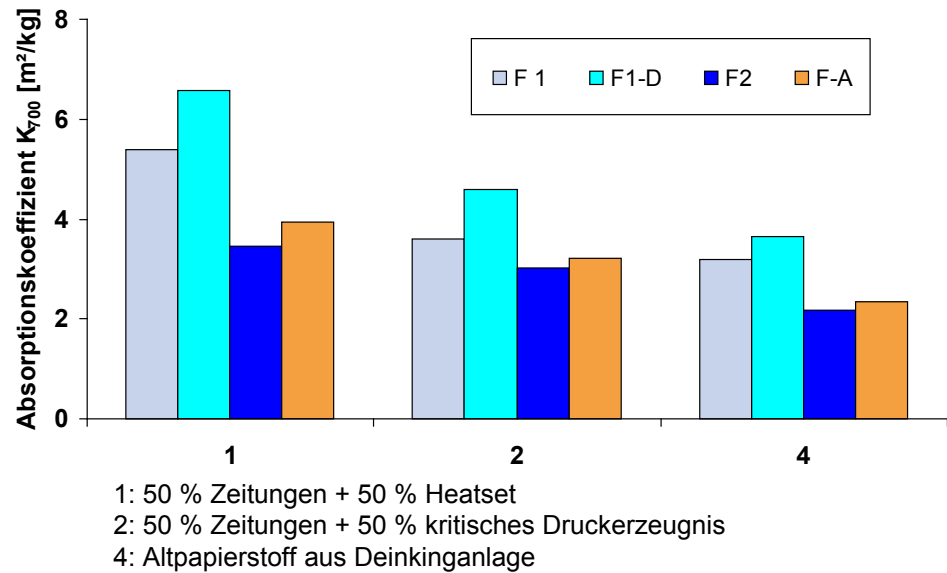


Abb. 17: Vergleich unterschiedlicher Konzepte hinsichtlich Hellbezugswert

Wirkungsgrad unterschiedlicher Konzepte hinsichtlich Druckfarbenanteil

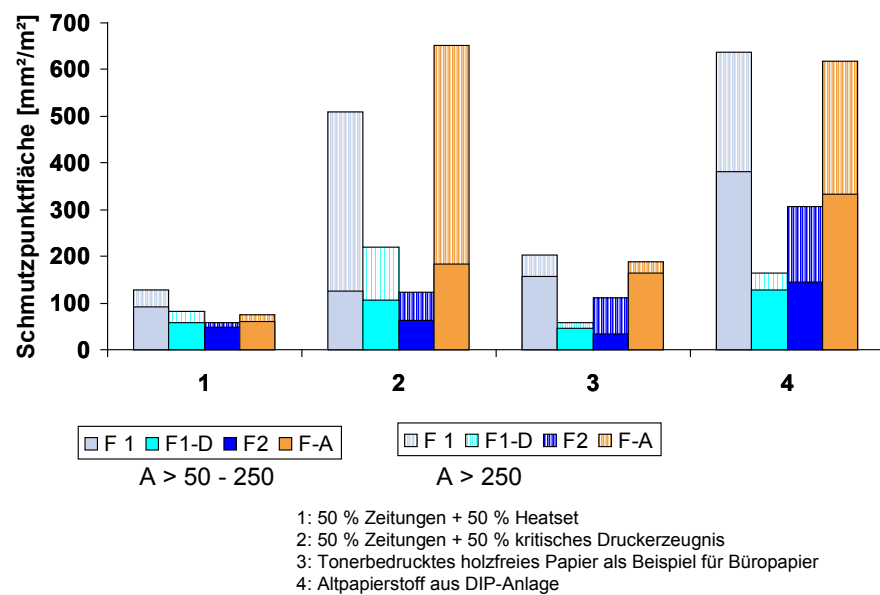
Hinsichtlich des Restdruckfarbenanteils konnte mit dem Konzept mit Fraktionierung ebenfalls ein nahezu vergleichbares Ergebnis erzielt werden wie mit einem 2-Loop System. Kleine Druckfarbenpartikel können effizient entfernt werden.



**Abb. 18: Vergleich unterschiedlicher Konzepte hinsichtlich Druckfarbenanteil**

Wirkungsgrad unterschiedlicher Konzepte hinsichtlich Schmutzpunktfläche

Die Schmutzpunktfläche war vor allem bei hohem Druckfarbenanteil > 250 µm im Ausgangsstoff höher für das Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung im Vergleich zu einem 2-Loop System.



**Abb. 19: Vergleich unterschiedlicher Konzepte hinsichtlich Schmutzpunktfläche**

Fazit

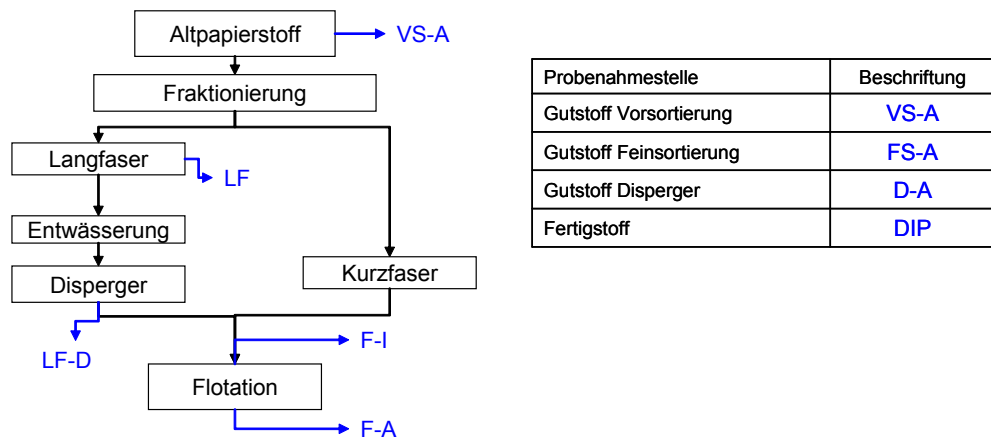
Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse

- Weißgrad und Hellbezugswert sind geringfügig niedriger für ein Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung im Vergleich zu einem 2-Loop System.
- Der Anteil kleiner Druckfarben ist nur geringfügig höher für ein Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung im Vergleich zu einem 2-Loop System. Kleine Druckfarbenpartikel können gut entfernt werden.
- Allerdings ist die Schmutzpunktfäche vor allem bei hohem Druckfarbenanteil > 250 µm im Ausgangsstoff höher für ein Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung im Vergleich zu einem 2-Loop System.

## 7 Überprüfung der abgeleiteten Konzepte unter Berücksichtigung des Sticky-Austrags an einem industriellen Altpapierstoff

Vorgehen

An einem industriellen Altpapierstoff sollte die neue Prozesskonfiguration überprüft und ermittelt werden, inwieweit die Partikelgrößenverteilung von Stickys verändert wird. Daraus kann abgeleitet werden, welche Trenntechniken bzw. Trennschritte vor bzw. nach Fraktionierung erforderlich sind, um Stickys auszutragen. Dazu wurde der Gehalt an Makrostickys an den nachfolgend gekennzeichneten Stoffproben der Versuche im Technikumsmaßstab und an ausgewählten Stoffproben aus der Deinkinganlage ermittelt.



**Abb. 20: Vorgehensweise zur Beurteilung einer veränderten Prozessführung hinsichtlich des Gehalts an Stickys**

Fragestellung

Die Fragestellungen waren:

Wie effizient müssen Stickys vor der Fraktionierung abgetrennt werden, um eine Zerkleinerung im Disperger zu verhindern? Ist eine zusätzliche Feinsortierung der Langfaserfraktion vor einer Dispergierung notwendig?

Gehalt an Makrosticky in Abhängigkeit von den Prozessschritten

Nachfolgende Abbildung zeigt die Fläche an Makrosticky der Stoffproben nach unterschiedlichen Prozessstufen der DIP-Anlage und der Technikumsversuche. Berücksichtigt man den Massenanteil der Langfaserfraktion (A (korrigiert)), zeigt sich, dass Makrosticky in der Langfaserfraktion angereichert sind. Die ermittelten Gehalte im Einlauf in die Fraktionierung (Gutstoff der Vorsortierung aus der Anlage und Massenstrom korrigierter Anteil der Langfaserfraktion) stimmen sehr gut überein, ebenso der korrigierte Anteil in der Langfaserfraktion nach Dispergierung und der Einlauf des Gesamtstoffs in die Flotation.

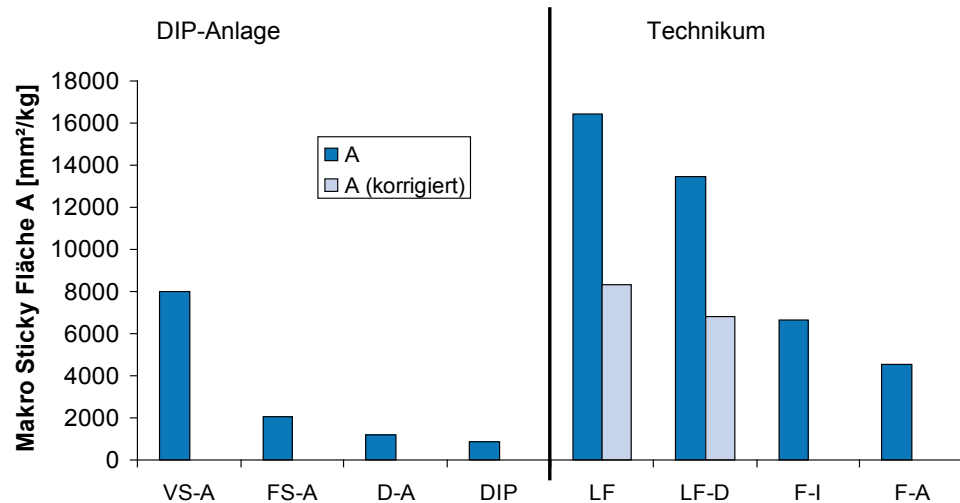


Abb. 21: Gehalt an Makrosticky in Abhängigkeit von den Prozessschritten

Größenverteilung der Makrostickyfläche über die Prozessstufen

Die Verschiebung des Partikelgrößenspektrums durch Dispergierung zeigt folgende Abbildung. Die Messwerte der Langfaserfraktion sind Massenstrom korrigiert. Der Anteil nicht mehr erfassbarer Makrosticky < 100 µm, hervorgerufen durch die Dispergierung beträgt in der DIP-Anlage 1440 mm²/kg und im Technikum 1510 mm²/kg und ist damit vergleichbar.

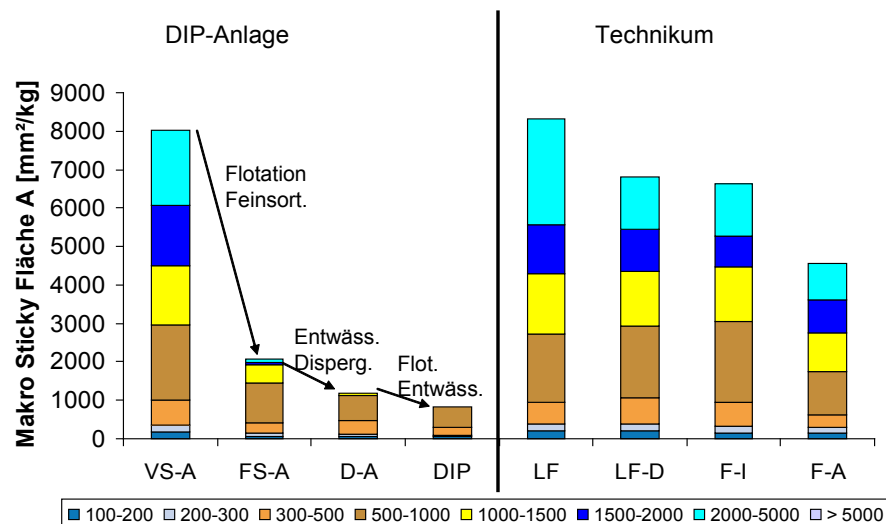
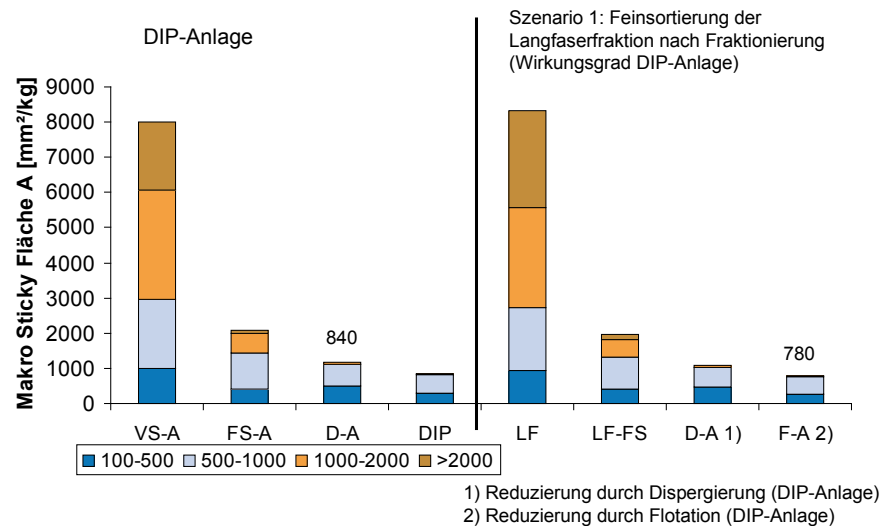


Abb. 22: Größenverteilung der Makrostickyfläche über die Prozessstufen

Bewertung der Effizienz der Makrosticky-Abtrennung

Die Ergebnisse zeigen, dass Makrostickys in der Langfaserfraktion angereichert werden und vor der Dispergierung abgetrennt werden müssen. Zur Bewertung der Effizienz einer erforderlichen Abtrennung von Makrostickys vor der Fraktionierung wurde Szenario 1 gerechnet. Diesem liegen die Daten der beprobten Anlage über die Effizienz einer Abtrennung durch Feinsortierung zugrunde. Der Verlauf des Makrostickygehalts nach einer Feinsortierung der Langfaserfraktion und über die weiteren Prozessstufen zeigt eine vergleichbare Entwicklung wie in der DIP-Anlage.



**Abb. 23: Entwicklung der Makrostickyfläche nach Feinsortierung (theoretisch mit Daten aus der Anlage)**

Fazit

Die Anreicherung von Makrostickys in der Langfaserfraktion erfordert eine effiziente Reduzierung von Makrostickys entweder der Langfaser vor der Dispergierung oder des Gesamtstoffs vor der Fraktionierung.

## 8 Optimale Prozessführung in Abhängigkeit von den eingesetzten graphischen Altpapiersorten

Vorgehen

Basierend auf den Ergebnissen sollten Konzepte zum optimalen Druckfarbenaustrag bei minimalem Energiebedarf und Verlusten abgeleitet werden. Es sollten Empfehlungen zur Wahl der Prozessstufen und Prozessbedingungen formuliert werden. Abschließend erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Wirkungsgrad unterschiedlicher Konzepte

Wie schon erläutert, konnten kleine Druckfarbenpartikel mit einem Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung vergleichbar effektiv entfernt werden wie mit einem 2-Loop System. Als problematisch erwies sich die Schmutzpunktfläche > 50 µm, die für das Konzept mit Trennung und Teilstromdispergierung höher war im Vergleich zu einem 2-Loop System.

Konzepte zum optimalen Druckfarbenaustrag

Für einen optimalen Austrag von Schmutzpunkten ist daher bei Einsatz einer Fraktionierung eine zusätzliche Behandlung der Langfaserfraktion notwendig. Mögliche Bedingungen und Prozessstufen sind eine Erhöhung des Energieeinsatzes bei der Dispergierung (4) oder eine Doppeldispergierung (5) vor der Flotation des Gesamtstoffs bzw. eine Flotation der Langfaserfraktion vor der Dispergierung (6 und 7).

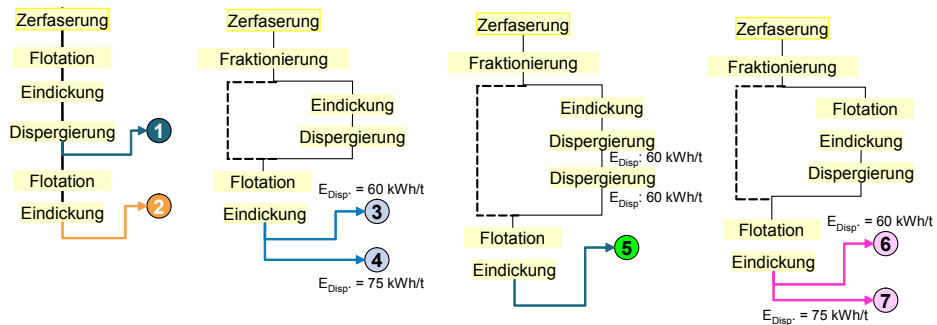


Abb. 24: Unterschiedliche Konzepte für verschiedene Altpapiersorten

Schmutzpunktfläche für unterschiedliche Konzepte

Ausgehend von den Daten der Altpapierstoffe aus der Deinkinganlage und den Technikumsversuchen mit diesem Altpapierstoff sowie den ermittelten Wirkungsgraden der einzelnen Prozessstufen Dispergierung und Flotation zur Schmutzpunktreduzierung sind nachfolgend die zu erwartenden Schmutzpunktflächen für die unterschiedlichen Konzepte aufgezeigt. Eine Erhöhung des Energieeinsatzes von 60 auf 75 kWh/t wurde mit einer Schmutzpunktreduzierung von 70 % angesetzt ([9]).

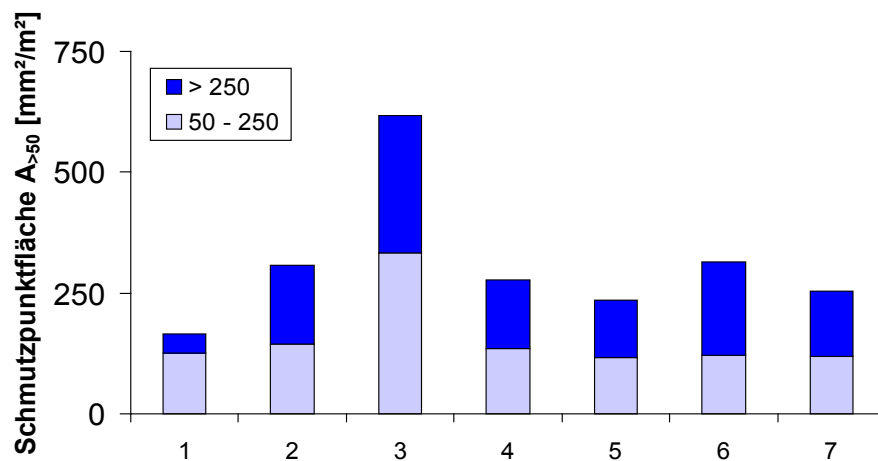


Abb. 25: Schmutzpunktfläche für unterschiedliche Konzepte

Wirtschaftliche Betrachtung unterschiedlicher Konzepte

Betrachtet man die Kostenblöcke für die unterschiedlichen Konzepte, so wird deutlich, dass durch die Teilstrombehandlung Energiekosten und Altpapierkosten im Vergleich zu einem 2-stufigen Flotationskreislauf für den Gesamtstoff eingespart werden.

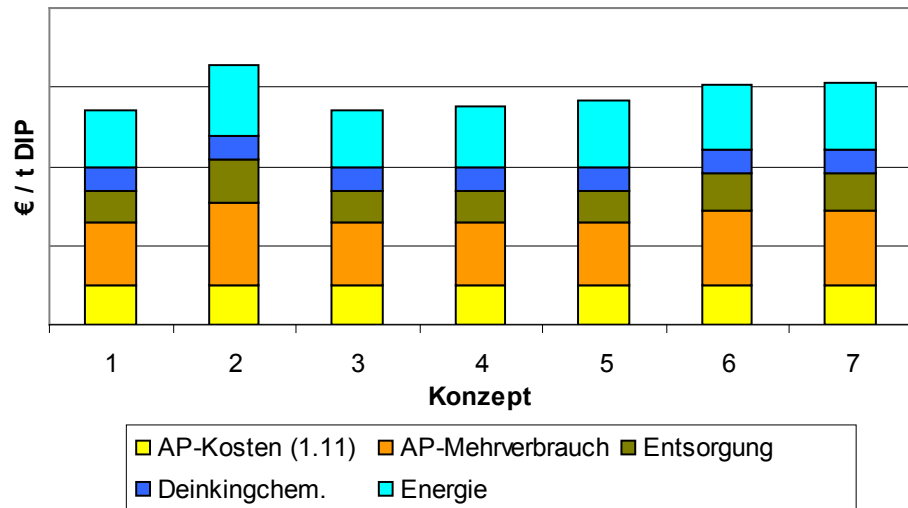


Abb. 26: Wirtschaftliche Betrachtung unterschiedlicher Konzepte

Kosten für Energie, Altpapiermehrverbrauch und Entsorgung für unterschiedliche Konzepte

Eine Flotation der Langfaserfraktion vor der Teilstromdispergierung auch bei höherem Energieeinsatz ist hinsichtlich einer energetischen Betrachtung günstiger zu bewerten als eine Doppeldispergierung. Bei hohen Altpapierpreisen, wie zurzeit, ist eine Doppeldispergierung wegen des geringeren Altpapiermehrverbrauchs von Vorteil.

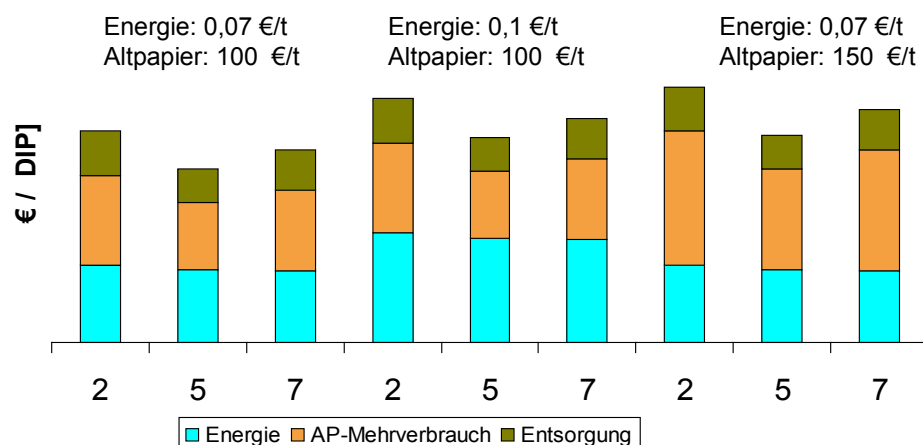


Abb. 27: Kosten für Energie, Altpapiermehrverbrauch und Entsorgung für unterschiedliche Konzepte



---

Erforderliche Prozessstufen zum Stickyaustrag	Wie schon erläutert, erfordert die Anreicherung von Makrostickys in der Langfaserfraktion eine effiziente Reduzierung von Makrostickys entweder der Langfaser vor der Dispergierung oder des Gesamtstoffs vor der Fraktionierung. Natürlich ist auch hier unter energetischen Aspekten eine Teilstrombehandlung günstiger.
Fazit	Durch eine Fraktionierung und Teilstrombehandlung können Energiekosten und Altpapierkosten im Vergleich zu einem 2-stufigen Flotationskreislauf für den Gesamtstoff eingespart werden.

---

## 9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Möglichkeiten zur Prozesseinfachung	Abhängig von der Altpapierzusammensetzung konnte aufgezeigt werden, dass durch eine Fraktionierung kleine Druckfarbenpartikel in der Kurzfaserfraktion und große, nicht abgelöste Druckfarbenpartikel in der Langfaserfraktion angereichert werden können. Bei geringem Anteil großer Schmutzpunkte im Altpapierstoff ist ein vergleichbarer Druckfarbenaustrag mit einer der Flotation vorgeschalteten Dispergierung der Langfaserfraktion erzielbar im Vergleich zu einem 2-stufigen Flotationskreislauf. Sind allerdings höhere Anteile an Schmutzpunkten zu erwarten, ist bei Einsatz einer Fraktionierung eine zusätzliche Behandlung der Langfaserfraktion notwendig.
Effizienter Einsatz der erforderlichen Prozessstufen im Rahmen der Stoffaufbereitung	Basierend auf den Versuchsergebnissen konnten Kosten-Szenarien für die unterschiedlichen Konzepte erstellt werden. Es zeigte sich, dass durch Teilstrombehandlung Energiekosten und Altpapierkosten im Vergleich zu einem 2-stufigen Flotationskreislauf für den Gesamtstoff eingespart werden können. Eine Flotation der Langfaserfraktion vor der Teilstromdispergierung ist hinsichtlich einer energetischen Betrachtung günstiger zu bewerten. Bei hohen Altpapierpreisen ist eine Doppeldispergierung wegen des geringeren Altpapiermehrverbrauchs von Vorteil
Wirtschaftlicher Nutzen einer Prozesseinfachung	<p>Auf Basis der Erkenntnisse ergeben sich folgende Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung der Kosten für Energie durch Teilstrombehandlung im Disperger und gegebenenfalls Verzicht auf eine zweite Flotationsstufe.</li> <li>• Erhöhung der Ausbeute in Deinkinganlagen. Das eingesetzte Altpapier kann effektiver für die Erzeugung von deinktem Stoff eingesetzt und so die Kosten für Rohstoffe und Entsorgung der anfallenden Abfälle verringert werden.</li> </ul>

---

### Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dr. Elisabeth Hanecker  
 Tel. 089/12146-495  
 Elisabeth.hanecker@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS  
 Papiertechnisches Institut PTI

Heißstraße 134  
80797 München  
Tel. (089) 1 21 46-0  
Fax (089) 1 21 46-36  
e-Mail: [info@ptspaper.de](mailto:info@ptspaper.de)  
[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

#### Literaturverzeichnis

- 1 N.N.  
Papier 2010, Ein Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie  
Verband deutscher Papierfabriken e.V. (VdP), Bonn 2010
- 2 E. Hanecker und A. Faul  
Veränderungen in den Qualitätseigenschaften von Altpapierstoffen  
ipw – Das Papier (2007) 1-2, T10-T14
- 3 Höke U., Faul A. und G. Lambrecht  
Deinking und wirtschaftliche Herstellung von Publikationspapieren  
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2006, PTS Symposium: DE 604
- 4 Aregger H. J., Hertl E., Sket P. U. K. P. Janisch  
Fraktionierung in Deinkinganlagen – ein neuer Weg in der Altpapieraufbereitung  
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2006, PTS Symposium: DE 604
- 5 Volk A. u. A. Sauer  
Energieeinsparung in der Stoffaufbereitung – effiziente Komponenten, schlanke Konzepte  
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium  
G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)  
München: PTS 2006, PTS Symposium: DE 604
- 6 Heß H.  
Die konsequente Konzeptionierung des Stoffaufbereitungsprozesses für Altpapier  
Vortrag bei der ZELLCHEMING Jahrestagung 2006
- 7 A. Lascar, A. Fernandez de Grado, A. Faul  
Deinking "2 in 1" – an advanced approach to simplifying deinking systems  
14. PTS-CTP Deinking-Symposium April 2010,  
E. Hanecker und B. Carré (Hrsg.)  
München: PTS 2010, PTS Symposium: DE 1004
- 8 B. Fabry, B. Carré  
Bedeutung mechanischer Behandlungsverfahren vor der Vorflotation zur Vereinfachung von Deinkinganlagen  
13. PTS-CTP Deinking-Symposium April 2008,  
E. Hanecker und G. Galland (Hrsg.)  
München: PTS 2008, PTS Symposium: DE 804
- 9 J. Strauss  
Verbesserung der optischen Qualitätseigenschaften deinkter Faserstoffe durch effizienten Einsatz der  
Prozessstufe Dispergierung unter Nutzung einer neuen Bewertungsmethode  
PTS Forschungsbericht PTS-FB 19/10, [www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)