

## **Titel**

# **Höhere Effektivität der Druckfarbenabtrennung in Deinkinganlagen unter Nutzung einer neuen Bewertungsmethode**

A.-M. Strunz, A. Manoiu

## **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>4</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Charakterisierung der eingesetzten Rohstoffe</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Druckfarbenpartikelanalyse der Altpapiersorten bei der Flotation in Abhängigkeit von Stoffdichte und Verweilzeit</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Verifizierung der Druckfarbenpartikelbelastung im Technikumsmaßstab bei holzhaltigen und holzfreien Altpapieren</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Optimierungskonzepte und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>	<b>16</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>21</b>

## 1 Zusammenfassung

<b>Thema</b>	Höhere Effektivität der Druckfarbenabtrennung in Deinkinganlagen unter Nutzung einer neuen Bewertungsmethode
<b>Ziel des Projektes</b>	Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung einer systematischen und vollständigen Vorgehensweise zur Bewertung und Optimierung der Abtrennung von Druckfarbenpartikeln aus hochwertigen graphischen Altpapiersorten in Deinkinganlagen.
<b>Ergebnisse</b>	<p>Für die untersuchten Altpapiersorten konnte aufgezeigt werden, dass der Einsatz der Methode zur Bestimmung der Druckfarben-Partikelgrößenverteilung eine differenziertere Betrachtung der Wirksamkeit der Flotation zur Druckfarbenentfernung ermöglicht. Mit der Druckfarbenpartikelanalyse steht eine bilanzierbare Größe zur Bewertung der optischen Eigenschaften zur Verfügung.</p> <p>Die Abtrenneffizienz abgelöster Druckfarbenpartikel ist eine Funktion der Rejektrate. Aus den aufgestellten Beziehungen können die Verluste sowie der Weißgrad bei optimalem Druckfarbenaustrag abgeleitet werden.</p> <p>Bei holzhaltigen Altpapiersorten empfiehlt es sich, in einer der Dispergierung vorgeschalteten Flotation alle abgelösten Druckfarbenpartikel möglichst effizient abzutrennen. Bei geringeren Anforderungen an die optischen Eigenschaften kann auf einen 2-stufigen Flotationskreislauf verzichtet werden. Erst höhere Anforderungen an die optischen Eigenschaften machen aufwändigere Konzepte notwendig. Bei holzfreien Altpapiersorten unterstützt eine Dispergierung vor der 1. Flotation die Fragmentierung und Ablösung. In einer der Dispergierung nachgeschalteten Flotation können die abgelösten Druckfarben wirkungsvoll entfernt werden.</p>
<b>Schlussfolgerung</b>	<p>Im Rahmen der Forschungsarbeiten konnte die Vorgehensweise zur Bewertung der Druckfarbenablösung und Druckfarbenentfernung erweitert, überprüft und festgelegt werden.</p> <p>Mit den Ergebnissen der Forschungsarbeiten steht eine vollständige Abbildung und Bilanzierung der Druckfarbenabtrennung in Abhängigkeit von den steuerbaren Prozessgrößen Stoffdichte und Rejektrate zur Verfügung.</p>
<b>Danksagung</b>	Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. IW 070152 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen und externen Industrieforschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm GmbH gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

## 2 Abstract

**Theme** Increased efficiency of ink removal in deinking plants by using a new evaluation method

---

**Project objective** Aim of this research project was the incorporation of a systematic and comprehensive procedure to evaluate and optimise the removal of ink particles from high-grade recovered graphic papers in deinking plants

---

**Results** For the recovered paper grades investigated, it could be shown that by using a method to determine the size distribution of ink particles, more differentiated performance assessments of flotation for ink removal are made possible. The analysis of ink particles provides a balanceable quantity to evaluate the optical properties.

The removal efficiency of detached ink particles is a function of reject rate. Losses and the brightness levels achieved by optimum ink removal can be derived from the relationships established.

For wood-containing recovered papers, it is advisable to use a flotation stage upstream of dispersing to remove all detached ink particles as efficiently as possible. A two-stage flotation circuit can be dispensed with if optical requirements are low. More complex and elaborate concepts are necessary only in the case of higher optical requirements. Dispersing ahead of the first flotation stage promotes ink fragmentation and detachment in wood-free recovered papers. A flotation stage downstream of dispersing ensures the efficient removal of detached ink particles.

---

**Conclusions** The procedure to evaluate ink detachment and ink removal could be expanded, revised and finalised in the project.

The project results enable the comprehensive mapping and balancing of ink removal as a function of the controllable process parameters stock consistency and reject rate.

---

**Acknowledgement** The research project IW 070152 was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi in the programme "Promotion of research, development and innovation for small and medium sized enterprises and external research establishments of the industry in Germany's new federal states" and carried out under the umbrella of EuroNorm in Berlin. We would like to express our warm gratitude for this support.

---

### 3 Einleitung

#### Entwicklung des Altpapiereinsatzes

Steigender Altpapiereinsatz, zunehmende Bedeutung von grafischen Altpapiersorten bei der Papierherstellung, schwieriger zu deinkende Altpapiermischungen und steigende Qualitätsanforderungen an Altpapierstoff stellen zusehends eine Herausforderung an die Aufbereitungstechnologie dar. Dazu kommt ein mittlerweile sehr stark geschlossener Recyclingkreislauf.

---

#### Qualität deinkter Stoffe

Der im Rahmen von INGEDE-Projekten [1, 2] durchgeführte Vergleich der Qualitätseigenschaften deinkter Stoffe und der Prozessdaten von Deinkinganlagen zeigte, dass es trotz der in den letzten Jahren gestiegenen Druckfarbenmenge im Altpapier nicht zu einem Abfall des durchschnittlichen Weißgrad des deinkten Stoffes gekommen ist. Erreicht wurde dies u.a. durch

- den Einsatz höherer Chemikalienmengen für Deinking und Bleiche,
- die Verbesserung der Flotationstechnik und
- die Erweiterung der Anlagen auf zwei Flotationsstufen inklusive zwischengeschalteter Dispergierung.

Diese Maßnahmen erforderten allerdings zusätzliche Investitionen und führten zu höheren Betriebskosten. Gleichzeitig stiegen die Stoffverluste an, so dass nun für die Herstellung der gleichen Neupapiermenge größere Mengen an Altpapier eingesetzt werden müssen [3].

Optimale Verfahren zur Druckfarbenentfernung für einen kostenoptimalen Stoffeinsatz hinsichtlich der geforderten optischen Eigenschaften besitzen daher große praktische Bedeutung für die graphisches Altpapier verwertende Papierindustrie.

---

#### Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung einer systematischen und vollständigen Vorgehensweise zur Bewertung und Optimierung der Abtrennung von Druckfarbenpartikeln aus hochwertigen graphischen Altpapiersorten in Deinkinganlagen. Es sollten genauere Kenntnisse darüber gewonnen werden, welchen Einfluss die in Deinkinganlagen steuerbaren Flotationsparameter wie Stoffdichte und Verweilzeit auf die Druckfarbenentfernung haben.

Die zu erarbeitende Vorgehensweise und die daraus resultierenden Ergebnisse sollten in das im Rahmen eines Forschungsprojektes [4] aufgebauten Moduls „Optische Eigenschaften“ des SystemCheck Stock Preparation eingebettet werden.

---

#### Basis der Projektbearbeitung

Basis des Projektes ist die bildanalytische Methode zur Messung der absoluten Beladung des AP-Stoffs mit Druckfarbenpartikel für das gesamte Partikelgrößenpektrum von 1 – 250 µm, die über mehrere Jahre an der PTS entwickelt wurde und verfügbar ist [5].

---

---

<b>Fragestellungen</b>	<p>Zu klären waren folgende Fragen:</p> <p>Ermöglicht die Methode zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung auch in kleinen Größenklassen eine differenziertere Betrachtung der Druckfarbenentfernung in Abhängigkeit von</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• den zum Einsatz kommenden Rohstoffen?</li> <li>• den wesentlichen Prozessparametern bei der Flotation?</li> </ul> <p>Welchen Einfluss haben die in Deinkinganlagen steuerbaren Flotationsparameter wie Stoffdichte und Verweilzeit auf die Druckfarbenentfernung?</p>
------------------------	--

---

#### 4 Versuchsdurchführung

<b>Untersuchte Altpapiersorten</b>	<p>Es wurden vier grafische Altpapiersorten untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deinkingware</li> <li>• Holzhaltige (hh) weiße Späne mit leichtem Andruck</li> <li>• Sortiertes Büroaltpapier</li> <li>• Holzfreie (hf) weiße Späne mit leichtem Andruck</li> </ul>
<b>Laborversuche zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Verweilzeit bei der Flotation und Druckfarbenpartikelabtrennung</b>	<p>Zum Einfluss der Verweilzeit und Rejektrate auf die Druckfarbenentfernung wurden Untersuchungen im Labormaßstab an definierten Altpapiermischungen durchgeführt.</p> <p>Die Zerkleinerung erfolgte entsprechend festgelegten Bedingungen. Nach Zerkleinerung, Reaktion und Homogenisierung wurde der Stoff in der Laborflotationszelle flотиert.</p> <p>Variiert wurden bei konstanter Stoffdichte von 0,8 % die Flotationsdauer in den Schritten 3, 6, 9, 12 und 20 Minuten.</p> <p>Die Bewertung der Druckfarbenablösung erfolgte nur nach der Zerkleinerung, die Druckfarbenpartikelanalyse und der so ermittelte Druckfarbenaustrag nach jeder definierten Flotationsdauer.</p>
<b>Laborversuche zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Stoffdichte bei der Flotation und Druckfarbenpartikelabtrennung</b>	<p>Zum Einfluss der Stoffdichte auf den Druckfarbenaustrag wurden weitere Untersuchungen im Labormaßstab durchgeführt. Die Zerkleinerungsbedingungen wurden nicht variiert.</p> <p>Die Stoffdichte wurde in den Bereichen 0,8 bis 1,8 % in den Schritten 0,8 %, 1 %, 1,2 %, 1,4 %, 1,6 % und 1,8 % variiert. Die Flotationsdauer wurde entsprechend der im 1. Schritt erzielten Ergebnisse so gewählt, dass eine optimale Druckfarbenentfernung sichergestellt ist.</p> <p>Die Druckfarbenpartikelanalyse erfolgte nach der Homogenisierung und nach der jeweiligen Flotation.</p>

---

### Versuchsdurchführung im Technikumsmaßstab

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse wurde in Technikumsversuchen geprüft. Für die Zerkleinerungsversuche wurde ein Pulper mit einem Nutzvolumen von  $100 \text{ dm}^3$  eingesetzt. Die Versuche zur Flotation wurden mit einem kompletten Versuchstand durchgeführt. Kernstück der Anlage ist eine verkleinerte Ausführung des großtechnischen EcoCell-Konzepts [6]. Die Belüftung der Zelle erfolgt über zwei getrennt steuerbare Diffusoren.

## 5 Charakterisierung der eingesetzten Rohstoffe

### Vorgehen

- Charakterisierung der Altpapiere nach Deinkbarkeit und Druckfarbenablösung
- Analyse der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung der Altpapiersorten

### Analyse der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung

Zur Ermittlung der Druckfarbenmenge wurden die undeinkten, flotierten und gewaschenen Stoffe nach Anzahl, Fläche und Partikelgrößenverteilung analysiert. Um einerseits statistisch gesicherte Ergebnisse zur Bilanzierung zu erhalten und andererseits eine Überlagerung von Druckfarbenpartikeln zu vermeiden, wurden Filterproben mit unterschiedlicher Belegung gebildet und bildanalytisch ausgewertet.

Es wurden sowohl Membran- als auch RK-Filter herangezogen. An Membranfiltern erfolgte die Analyse kleiner Schmutzpunkte (KSM) mit einem Mikroskop, an RK-Filtern die Analyse großer Schmutzpunkte (GSP) mit einem Scanner. Der Größenklassenbereich  $50 - 100 \mu\text{m}$  wurde für die beiden unterschiedlichen Messverfahren erfasst.

Nachfolgend werden exemplarisch einige Ergebnisse aufgezeigt.

### Kombination der Messverfahren

Der Vergleich der Messdaten aus den beiden Messverfahren in einem Überlappungsbereich ( $50-100 \mu\text{m}$ ) zeigt, dass trotz unterschiedlicher Messverfahren die kleinen und die großen Schmutzpunktmessungen sehr gut zu gemeinsamen Kennzahlen kombiniert werden können, wie nachfolgend verdeutlicht.

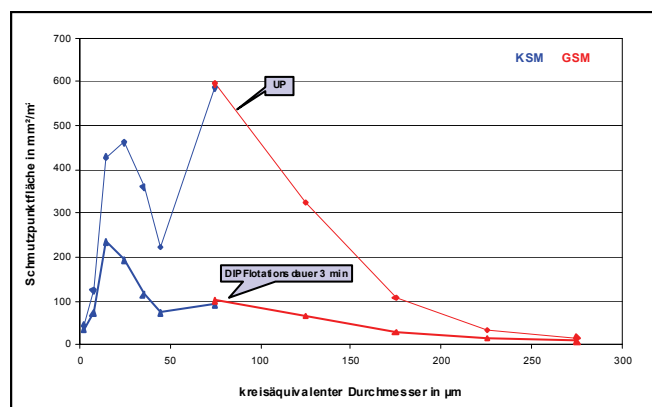


Abbildung 1: Kombination beider Messverfahren für undeinkten (UP) und deinkten (DP) Stoff aus Büroaltpapier

**Unterschiede der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung für die Altpapiersorten**

Deinkingware wies die höchste Druckfarbenmenge auf, mit einem Hauptanteil im Größenklassenbereich bis 20 µm. Die holzhaltigen bedruckten Späne hatten eine ähnliche Verteilung, allerdings mit einer deutlich niedrigeren Menge über alle Größenklassenbereiche.

Die holzfreenen Altpapiersorten zeigten eine andere Verteilungsfunktion, mit weit geringerem Anteil in einem Größenklassenbereich < 20 µm und höheren Anteilen großer Druckfarbenpartikel. Auch hier wiesen die holzfreenen leicht bedruckten Späne eine deutlich niedrigere Menge über alle Größenklassenbereiche auf.

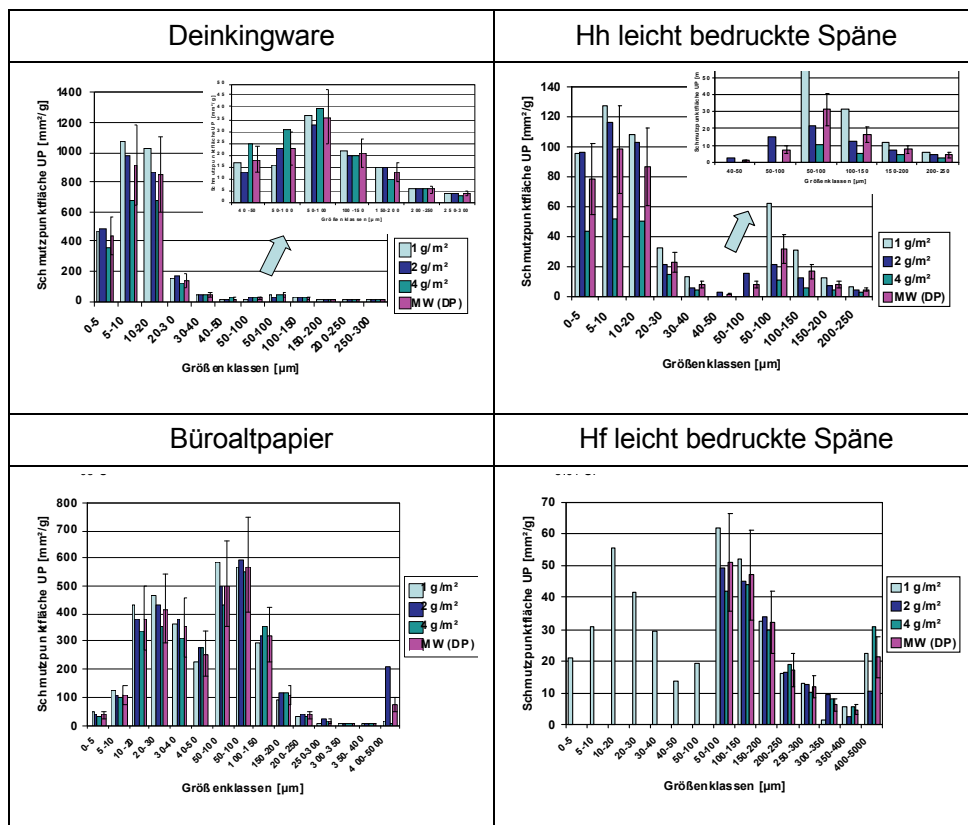


Abbildung 2: Vergleich der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung undeinkter Stoffe für die untersuchten Altpapiere je Größenklasse und Belegung

**Festlegung der Vorgehensweise zur Druckfarbenbilanzierung je Altpapiersorte**

Hinsichtlich der Vorgehensweise zur Druckfarbenpartikelbilanzierung wurde festgelegt, auch für die weitergehenden Untersuchungen im Labormaßstab (mit Ausnahme für die Altpapiersorte 3.04 – weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfreen) für die Filter eine Belegung von 1 g/m², 2 g/m² und 4 g/m² vorzunehmen und bildanalytisch auszuwerten. Dadurch kann vor allem bei größeren Schmutzpunkten die Genauigkeit der Messung erhöht werden.

## 6 Druckfarbenpartikelanalyse der Altpapiersorten bei der Flotation in Abhängigkeit von Stoffdichte und Verweilzeit

### Vorgehen

- Durchführung von Laborversuchen bei Variation der Stoffdichte und Flotationsdauer.
- Ermittlung der optischen Eigenschaften, Druckfarbenpartikelanalyse, Ermittlung der Stoffverluste.

### Einfluss der Flotationsdauer bei Deinkingware

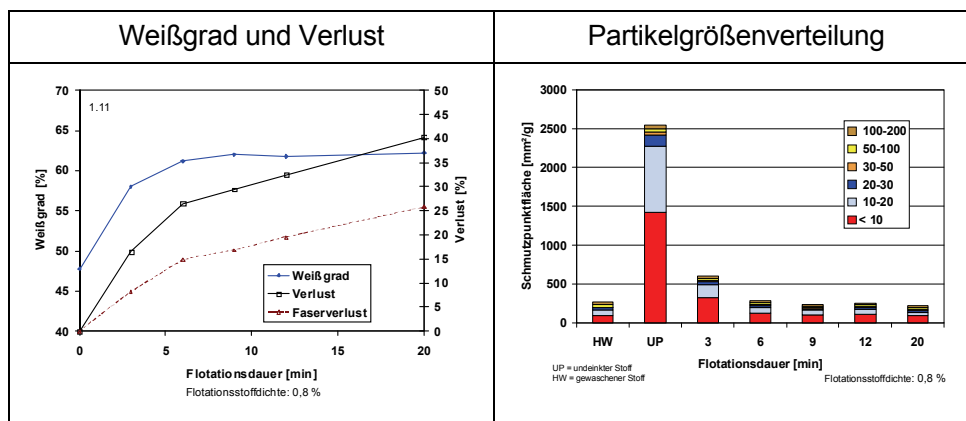


Abbildung 3: Entwicklung von Weißgrad, Verlust und Partikelgrößenverteilung über die Flotationsdauer für Deinkingware 1.11

### Weißgradentwicklung

Erkennbar wird, dass der höchste Weißgradgewinn bereits nach einer Flotationsdauer von 3 Minuten erzielt wurde. Eine Erhöhung der Flotationsdauer auf sechs Minuten brachte einen zusätzlichen Weißgradgewinn. Eine darüber hinaus gehende Verweildauer der Faserstoffsupension in der Flotationszelle führte zu keiner signifikanten Verbesserung des Weißgrades.

### Partikelgrößenverteilung

Bei Einsatz von Deinkingware wird klar ersichtlich, dass 90 % der Druckfarbenpartikel in einem Größenklassenbereich  $< 20 \mu\text{m}$  kreisäquivalenter Durchmesser vorliegen. Diese Druckfarbenpartikel sind sehr gut durch Hyperwäsche abtrennbar und damit von den Fasern abgelöst.

Der hohe Anteil kleiner Druckfarbenpartikel im undeinkten Stoff korreliert sehr gut mit dem geringen Ausgangsweißgrad. Deutlich wird ebenfalls, dass bereits nach einer Flotationsdauer von drei Minuten der größte Teil (über 77 %) der ursprünglich vorhandenen Druckfarbenmenge aus dem Faserstoff ausgetragen wurde, was die Weißgradsteigerung von rund 10 %-Punkten brachte. Eine darüber hinaus gehende Flotationsdauer führte zu einer weiteren Partikelflächenreduzierung, welche nach sechs Minuten das Maximum erreichte. Zu erkennen ist, dass auch durch eine länger geführte Flotation keine weitere signifikante Druckfarbenmenge ausgetragen werden konnte.

Eine länger andauernde Flotation erscheint sowohl hinsichtlich Weißgrad und Partikelflächenreduzierung als auch im Hinblick auf die entstehenden Verluste nicht mehr vorteilhaft.



### Einfluss der Flotationsstoffdichte bei Deinkingware

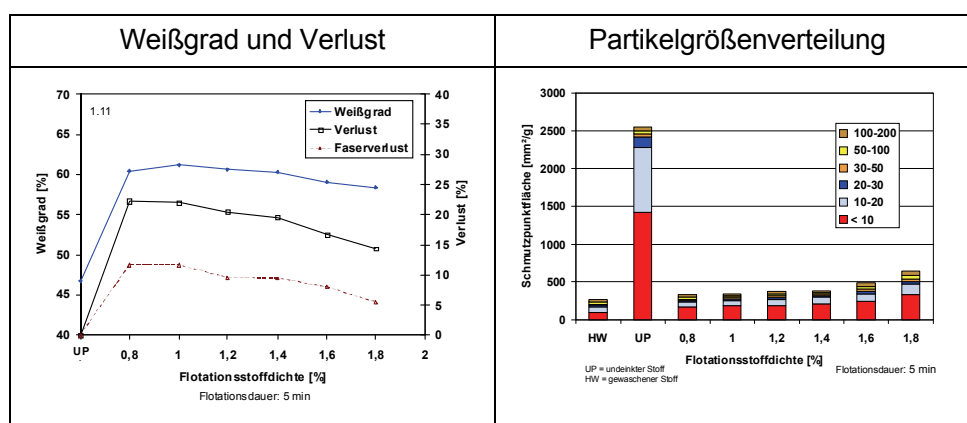


Abbildung 4: Entwicklung von Weißgrad, Verlust und Schmutzpunktfäche über die Flotationsstoffdichte für Deinkingware 1.11

### Weißgradentwicklung

Eine Anhebung der Stoffdichte in der Faserstoffsuspension in einem Bereich von 0,8 % auf 1,4 % hat keine Weißgradverluste zur Folge. Eine darüber hinaus steigende Suspensionsstoffdichte führte zu einer geringeren Druckfarbenentfernung und damit zu einem geringeren Weißgrad. Eine Verdoppelung der Suspensionsstoffdichte von 0,8 % auf 1,6 % bewirkte einen Weißgradverlust von 1,3 %-Punkten.

### Partikelgrößenverteilung

Zwischen den Stoffdichten von 0,8 % und 1,4 % resultierten nur minimale Unterschiede hinsichtlich der Partikelflächen in den einzelnen Größenklassen. Ab einer Stoffdichte von 1,6 % konnte eine verringerte Reinigungsleistung verzeichnet werden.

Unter der Betrachtung des Weißgrades sowie der ermittelten Partikelflächenreduzierung wird deutlich, dass eine Erhöhung der Stoffdichte von 0,8 % auf 1,4% keine sichtbaren Nachteile mit sich brachte. Die Erhöhung der Stoffdichte bei der Flotation von 0,8 % auf 1,4 % stellt eine Möglichkeit zur Steigerung des Durchsatzes der Flotationsanlage um 75 % dar und kann damit aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhafter sein.

Die mit steigender Flotationsstoffdichte geringeren Verluste können darauf zurückgeführt werden, dass infolge einer reduzierten Turbulenz die Kollisionsrate reduziert wird und damit auch der Kontakt und das Anhaften vor allem größerer Teilchen verringert werden. Auch das dichtere Fasernetzwerk in der Suspension spielt eine Rolle. Dadurch werden möglicherweise von den Blasen locker anhaftende Feststoffe während des Aufsteigens wieder abgeschert. Ein anderer vorstellbarer Effekt ist, dass durch das Netzwerk weniger Blasen bis an die Oberfläche aufsteigen können.

**Einfluss der Flotationsdauer bei Büropapier**

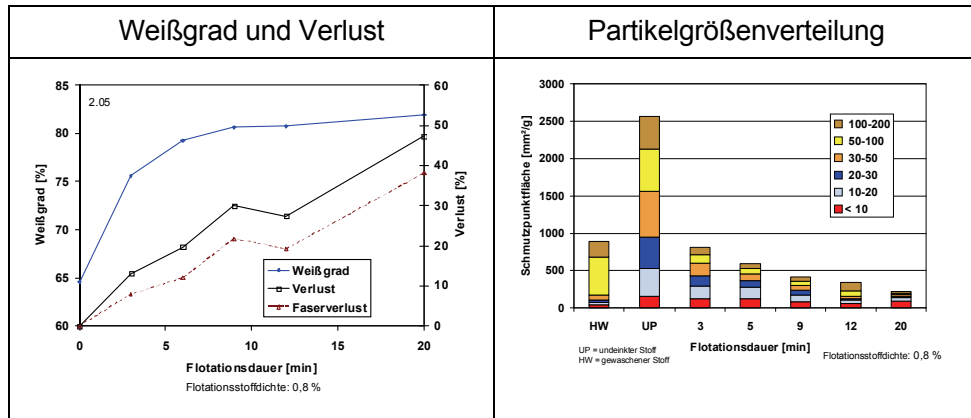


Abbildung 5: Entwicklung von Weißgrad, Verlust und Schmutzpunktfäche über die Flotationsdauer für sortiertes Büropapier

**Weißgradentwicklung**

Die größte Weißgradsteigerung war wieder nach kurzer Flotationsdauer erreicht. Eine Flotationsdauer von sechs Minuten führte zu einem sehr hohen Weißgrad, der sich mit steigender Flotationsdauer nicht mehr wesentlich veränderte.

**Partikelgrößenverteilung**

Bei Büroaltpapier liegen nur 20 % der Druckfarbenpartikel in einem Größenklassenbereich < 20 µm vor. Der Anteil > 50 – 200 µm beträgt 40 %. Partikel < 50 µm sind gut durch Wäsche abtrennbar und somit abgelöst.

Es wird deutlich, dass die besonders starke Reduzierung der Druckfarbenpartikel in einem Größenspektrum > 20 µm einen erheblichen Beitrag zur Herabsetzung der Gesamtpartikelfläche leistete. Ein effizienter Austrag von Teilchen < 20 µm erfolgte erst mit steigender Flotationsdauer. Druckfarbenpartikel, die sich in einem Größenbereich < 10 µm befanden, wurden weniger effizient ausgetragen. Die Entwicklung von Weißgrad und Schmutzpunktfäche stimmen gut überein.

**Einfluss der Flotationsstoffdichte bei Büropapier**

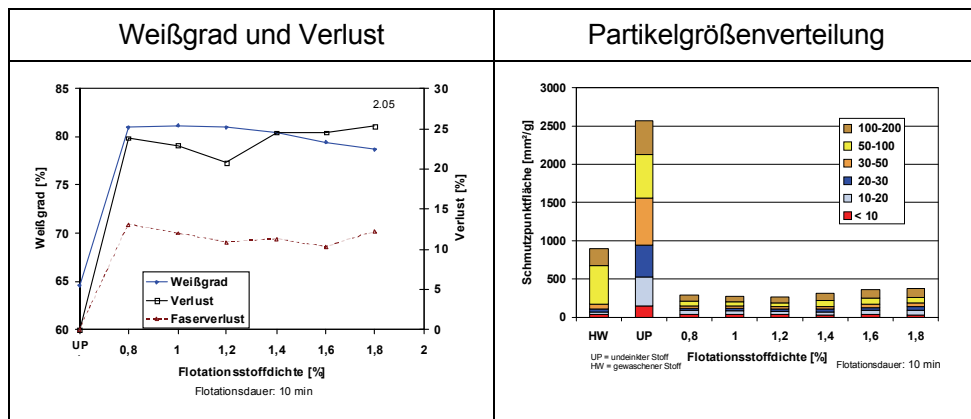


Abbildung 6: Entwicklung von Weißgrad, Verlust und Schmutzpunktfäche über die Flotationsstoffdichte für sortiertes Büropapier

**Weißgradientwicklung**

Die Weißgradientwicklung über die Flotationsstoffdichte zeigt, dass ein Weißgradabfall ab 1,4 % eintritt.

**Partikelgrößenverteilung**

Der Einfluss der Stoffdichte auf die Schmutzpunktreduzierung erfolgte analog zur Weißgradsteigerung. Es ist gut zu erkennen, dass durch eine Erhöhung der Stoffdichte auf 1,2 % keine Verschlechterung hinsichtlich der Reduzierung der Schmutzpunktfäche stattgefunden hat. Steigende Stoffdichte ab 1,4 % wirkt sich vor allen dahingehend aus, dass Druckfarbenpartikel > 20 µm weniger effizient ausgetragen werden. Die mit steigender Stoffdichte einhergehende Verringerung der Turbulenz und Kollisionsrate behindert das Anhaften größerer Partikel an Blasen und den Austrag bzw. von den Blasen locker anhaftende Feststoffe werden während des Aufsteigens wieder abgeschert.

Bei dieser Altpapiersorte wurde eine geringfügige Erhöhung der Verluste mit steigender Stoffdichte ermittelt. Der leichte Anstieg des Gesamtverlustes kann vor allem auf den zunehmenden Füllstoffzug mit steigender Stoffdichte zurückgeführt werden.

**Abtrenneffizienz**

Die Effizienz der Abtrennung abgelöster Druckfarbenpartikel kann über die Fläche der Druckfarbenpartikel nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$E = \frac{A_{UP} - A_{DP}}{A_{UP} - A_{HW}}$$

E = Abtrenneffizienz abgelöster Druckfarben

A<sub>UP</sub> = Fläche der Druckfarbenpartikel im undeinkten Stoff

A<sub>DP</sub> = Fläche der Druckfarbenpartikel im deinkten Stoff

A<sub>HW</sub> = Fläche der Druckfarbenpartikel im Stoff nach Hyperwäsche

**Abtrenneffizienz in Abhängigkeit von der Rejektrate**

Nachfolgende Abbildung zeigt, dass die Effizienz der Abtrennung von abgelösten Druckfarben eine Funktion der Rejektrate ist.

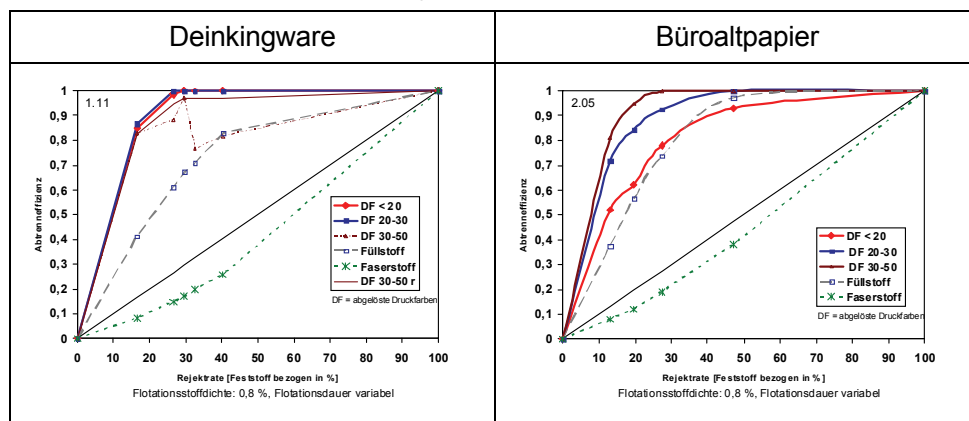


Abbildung 7: Abtrenneffizienz in Abhängigkeit von der Rejektrate

---

**Fazit**

Für die untersuchten Altpapiersorten konnte aufgezeigt werden, dass der Einsatz der Methode zur Bestimmung der Schmutzpunkt-Partikelgrößenverteilung auch in kleinen Größenklassen eine differenziertere Betrachtung der Wirksamkeit der Flotation zur Druckfarbenentfernung in Abhängigkeit vom Rohstoff Altpapier ermöglicht. Die Entwicklung von Weißgrad und Schmutzpunktfläche in Abhängigkeit von den untersuchten Prozessvariablen und Altpapiersorten stimmen gut überein. Über eine Druckfarbenpartikelanalyse steht somit eine bilanzierbare Größe zur Bewertung der optischen Eigenschaften zur Verfügung.

Holzhaltige und holzfreie Altpapiersorten unterscheiden sich im Druckverfahren und wiesen unterschiedliche Größenklassenspektren der Druckfarbenpartikel auf.

Die Untersuchungen zur Variation der Suspensionsstoffdichte zeigten, dass bei allen untersuchten Altpapierstoffen eine rohstoffspezifische Obergrenze existiert und dass sich bei Überschreitung dieser Obergrenze der Austrag von Druckfarbenpartikeln deutlich verschlechtert. Die Erhöhung der Suspensionsstoffdichte bei der Flotation kann ggf. zur Steigerung der Anlagenkapazität genutzt werden. Für die untersuchten Altpapiersorten scheint bei 1,4 % Stoffdichte ein oberer Grenzwert für die Erzielung eines optimalen Flotationsergebnisses zu liegen.

Flotationsdauern zwischen 5 und 10 min bewirkten einen weitgehenden Austrag der Druckfarben bzw. den entscheidenden Anstieg des Weißgrades. Längere Flotationszeiten führen nicht zwangsläufig zu einer weiteren Steigerung der Druckfarbenentfernung bzw. zu einer Verbesserung der Qualität des Deinkingstoffs, sind aber mit einer Erhöhung der Verluste verbunden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Abtrenneffizienz abgelöster Druckfarbenpartikel eine Funktion der Rejektrate ist und über diese gesteuert werden kann. Aus den für die einzelnen Altpapiersorten aufgestellten Beziehungen können auch die Faserstoff- und Füllstoffverluste sowie der Weißgrad bei optimalem Druckfarbenaustrag abgeleitet werden.

---

## **7 Verifizierung der Druckfarbenpartikelbelastung im Technikumsmaßstab bei holzhaltigen und holzfreien Altpapieren**

**Vorgehen**

- Durchführung von Technikumsversuchen bei Variation
    - der Betriebsparameter der Pilotflotationszelle und
    - der Altpapiersorten
  - Ermittlung der optischen Eigenschaften, Druckfarbenpartikelanalyse, Ermittlung der Stoffverluste
  - Überprüfung der Anwendbarkeit der Methode
-

**Technikumsversuche**

Die Untersuchungen im Technikumsmaßstab wurden mit den vier graphischen Altpapiersorten durchgeführt.

Variiert wurde die Anzahl der Durchgänge durch die Pilotanlage, um zu überprüfen, ob der in den Laborversuchen gefundene Zusammenhang zwischen Effizienz der Druckfarbenentfernung und Rejektrate bestätigt werden kann.

Zusätzlich wurde nach 5 Durchgängen der Stoff im Labormaßstab nachflotiert, um das Potenzial der Druckfarbenentfernung zu ermitteln.

**Abtrenneffizienz in Abhängigkeit von der Rejektrate bei hh Altpapieren**

Nachfolgend ist die Abtrenneffizienz abgelöster Druckfarbenpartikel für die Größenklassenbereich  $< 20 \mu\text{m}$ ,  $20 - 30 \mu\text{m}$  und  $30 - 50 \mu\text{m}$  in Abhängigkeit von der Rejektrate für die Technikumsversuche am Beispiel der holzhaltigen Altpapier aufgezigt. Die durchgezogenen Linien geben den Kurvenverlauf wider, der aus den Laborversuchen ermittelt wurde.

Die Technikumsversuche bestätigen, dass der Austrag abgelöster Druckfarbenpartikel eine Funktion der Rejektrate ist. Der Kurvenverlauf stimmt gut überein.

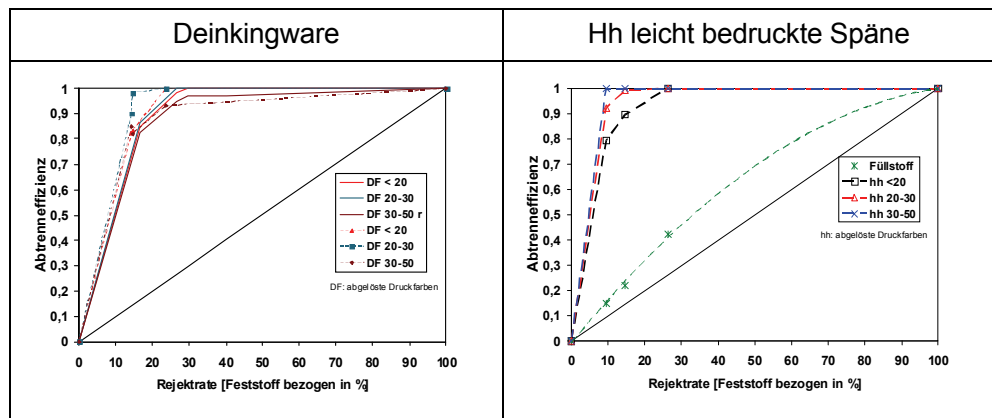


Abbildung 8: Abtrenneffizienz abgelöste Druckfarbenpartikel in Abhängigkeit von der Rejektrate

### Einfluss der Dispergierung auf Partikelgrößenverteilung und Druckfarbenaustrag

Bei Einsatz holzhaltiger Altpapiersorten birgt ein unzureichender Austrag abgelöster Druckfarben in der Vorflotation die Gefahr einer Zerkleinerung dieser Druckfarbenpartikel durch Dispergierung [7]. Nachfolgendes Beispiel zeigt, dass eine Fragmentierung der Druckfarbenpartikel nach zweistufiger Dispergierung den Druckfarbenaustrag durch Nachflotation verschlechtert. Folge ist ein niedrigerer Endweißgrad.

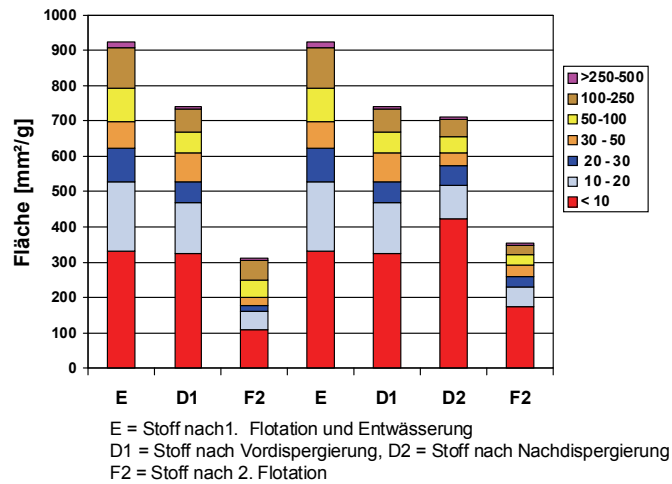


Abbildung 9: Einfluss der Dispergierung auf die Partikelgrößenverteilung und den Druckfarbenaustrag am Beispiel für Deinkingware

### Bewertung der Art und Reihenfolge der Prozessstufen bei holzfreien Altpapieren

Holzfreie graphische Altpapiersorten weisen einen hohen Ausgangsweißgrad auf. Dieser wird durch Flotation nur geringfügig verbessert. Schmutzpunkte beeinträchtigen die Reinheit. Der Aufbereitungsprozess muss deshalb so gestaltet werden, dass vor allem Schmutzpunkte wirkungsvoll reduziert werden. Dies wird durch die Prozessstufe Dispergierung erzielt. Untersuchungen zu Prozesskombinationen mit und ohne Vorflotation zeigten keine Verschlechterung des Druckfarbenaustrags bei Verzicht auf eine Vorflotation vor der Dispergierung und nachfolgender Flotation. Bei holzfreien Altpapiersorten kann demnach auf eine Flotation vor der Dispergierung verzichtet werden. Eine der Dispergierung nachgeschaltete Flotation ist notwendig, um die zerkleinerten Druckfarbenpartikel zu entfernen. Eine Dispergierung verbessert auch die Druckfarbenablösung. Bei Büroaltpapier wurde diese von 66 % auf 77 % erhöht. Bei Büroaltpapier wurde diese von 66 % auf 77 % erhöht.

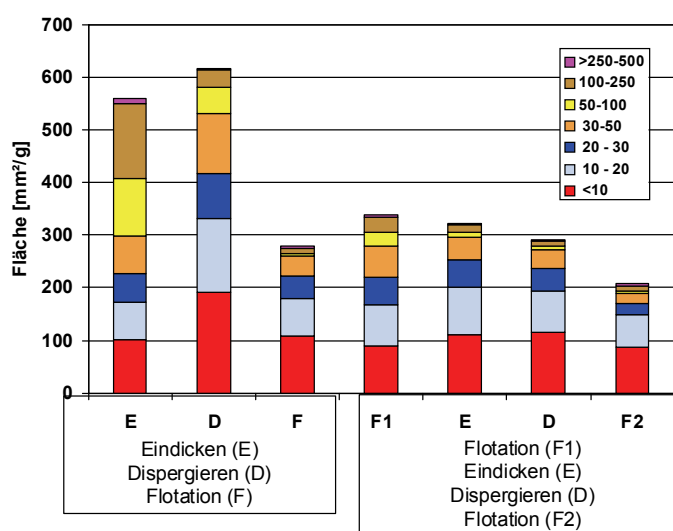


Abbildung 10: Druckfarbenpartikelgrößenverteilung in Abhängigkeit von Art und Reihenfolge der Prozessstufen am Beispiel Büroaltpapier

### Fazit Schwachstellen zur Druckfarbenentfernung

Folgende Schwachstellen konnten mit Hilfe der Druckfarbenpartikelanalyse ermittelt werden:

Holzhaltige Altpapiersorten

- Unzureichender Austrag der abgelösten Druckfarbenpartikel infolge zu geringer Rejektrate in der 1. Flotation: Folge davon ist eine Fragmentierung der nicht ausgetragenen Partikel in der nachfolgenden Dispergierung und damit Verschlechterung des Austrags in der darauf folgenden 2. Flotation
- Stoffdichte in der Flotation > 1,4 % verschlechtert Druckfarbenaustrag.

Holzfreie Altpapiersorten

- Unzureichender Austrag aller abgelösten Druckfarbenpartikel infolge zu geringer Rejektrate in der Flotation
- Zu hoher Anteil von Druckfarbenpartikeln > 50 µm nach Zerkleinerung
- Stoffdichte in der Flotation > 1,2 % verschlechtert Druckfarbenaustrag.

## 8 Optimierungskonzepte und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Vorgehen

- Darstellung der erforderlichen Prozessstufen und deren Betriebsparameter für optimale Druckfarbenentfernung je Altpapiersorte
- Ableitung von Optimierungskonzepten hinsichtlich optimalem Druckfarbenaustrag
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Vergleich der eingesetzten Altpapiere

Aus allen zur Verfügung stehenden Ergebnissen wurden für jede untersuchte Altpapiersorte die Effizienz der Druckfarbenablösung, die erforderliche Rejektrate zur optimalen Abtrennung abgelöster Druckfarben < 50 µm und der damit einhergehende Füllstoffentzug und Faserstoffverlust bestimmt. Die Abtrenneffizienz von Druckfarben > 50 µm wurde aus den Versuchsergebnissen ermittelt. Daraus wurden die Zusammensetzung des Einlaufs in die Sekundärflotation und die des Flotates ermittelt und der Stoffverlust durch Flotation bei optimalem Druckfarbenaustrag abgeleitet. Aus der Korrelation der Druckfarbenmenge < 50 µm und der Weißgrade je Altpapiersorte kann der erzielbare Weißgrad bei optimaler Rejektrate abgeschätzt werden.

**Tabelle 1: Vergleich der Altpapiere**

AP-Sorte	1.11	1.11	2.05	2.05
Versuche	L	T	L	T
L = Altpapier im Laborversuch, T = Altpapier im Technikumsversuch				
Weißgrad ( $R_{457}$ ) und Aschegehalt (Asche) nach Zerfaserung				
$R_{457}$ , %	47,8	42,9	64,6	80,5
Asche, %	25,1	20,4	17,1	13,3
Druckfarbenanteil nach Zerfaserung				
Gesamtfläche, mm <sup>2</sup> /g	2650	3119	2630	960
Menge kg / 100 kg Papier	1,326	1,560	1,313	0,480
Fläche > 50 µm, mm <sup>2</sup> /g	190	425	1070	360
Anteil Fläche > 50 µm, %	7,2	13,6	40,7	37,3
Abgelöste Druckfarben Fläche < 50 µm, mm <sup>2</sup> /g	2260	2340	1390	395
Druckfarbenablösung < 50 µm, %	92	87	89	66
Rejektrate für optimalen Austrag abgelöster Druckfarbe in der Flotation				
Rejektrate, %	29	29	30	30
Weißgrad ( $R_{457}$ ) und Aschegehalt (Asche) nach Flotation				
$R_{457}$ , %	62	57	81	84
Asche, %	15,8	12,8	6	5
Verlust, %	12	10	14	10
Druckfarbenfläche > 50 µm, mm <sup>2</sup> /g	130	300	500	200
Maximale Stoffdichte, %	1,4	1,4	1,2	1,2



---

**Bewertung der Druckfarbenmenge**

Die Druckfarbenmenge wurde aus der Gesamtfläche der Druckfarbenpartikel und einer Schichtdicke von 5 µm sowie einer Dichte von 1 kg/m<sup>3</sup> quantitativ ermittelt. Für die bei den Untersuchungen eingesetzte Deinkingware lag die Druckfarbenmenge bei 1,3 – 1,6 kg / 100 kg Papier. Dies stimmt gut mit dem durchschnittlichen Druckfarbenverbrauch von 2 kg / 100 kg Papier überein [8], wenn man berücksichtigt, dass je nach Druckverfahren ein Teil der Druckfarbenbestandteile (Mineralöl bzw. Lösemittel) durch Wegschlagen oder Trocknung entfernt wird.

Der geringere Anteil in der Modellmischung für die Laborversuche ist darauf zurückzuführen, dass 50 % im Tiefdruck bedruckte Papiere zum Einsatz kamen. Für die aus einer Deinkinganlage zur Verfügung gestellte Deinkingware für die Technikumsversuche wurde eine höhere Druckfarbenmenge ermittelt, was auf einen höheren Zeitungsanteil schließen lässt. Dieser Rückschluss wird auch durch den geringeren Aschegehalt und den niedrigeren Ausgangsweißgrad bestätigt.

Der Tonerverbrauch kann mit 0,5 g / m<sup>2</sup> abgeschätzt werden. Bei einer flächenbezogenen Masse von 80 g / m<sup>2</sup> für Kopierpapier entspricht dies 0,625 kg Toner / 100 kg Papier. Die hohe Druckfarbenmenge bei den bedruckten Papieren für die Laborversuche ist auf die gewählte Druckform bei der Modellmischung zurückzuführen. Es wurde eine Testform verwendet, die knapp zur Hälfte vollflächig bedruckt war und demnach eine deutlich höhere Farbmenge aufwies als nur mit Text bedruckte Papiere, wie sie bei der für die Technikumsversuche eingesetzten Mischung vorlag.

---

**Vergleich der Druckfarbenablösung**

Die Druckfarbenablösung von Teilchen < 50 µm war bei den Laborversuchen durchwegs besser als bei den Untersuchungen, die im Technikum durchgeführt wurden.

Bei Deinkingware kann dies darauf zurückgeführt werden, dass das Altpapier aus der Deinkinganlage auch Anteile an Zeitungen enthält, die schon länger gelagert waren, aber auch im Heatset bedruckte Magazine.

Bei den holzfreien Altpapieren war der Druckfarbenanteil > 50 µm deutlich höher als bei den holzhaltigen Altpapieren.

---

**Konzeptvarianten** Für holzhaltige Altpapiersorten:

Varianten 1 – 3: Konzepte mit einem bzw. zwei Flotationskreisläufen und zusätzlicher Bleiche.

Für holzfreie Altpapiersorten:

Varianten 1 – 6, also auch Konzepte unter Verzicht auf die Vorflotation .

Variante 1	Variante 2	Variante 2a	Variante 3	Variante 3a	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung	Auflösung Sortierung
Flotation 1	Flotation 1	Flotation 1	Flotation 1	Flotation 1	Eindicken 1	Eindicken 1	Eindicken 1
Eindicken 1	Eindicken 1	Eindicken 1	Eindicken 1	Eindicken 1	Disperger 1	Disperger 1	Disperger 1
	Disperger 1	Disperger 1	Disperger 1	Disperger 1	Flotation 1	Disperger 2	Flotation 1
		Bleiche	Flotation 2	Bleiche	Eindicken 2	Flotation 1	Eindicken 2
			Eindicken 2	Flotation 2		Eindicken 2	Disperger 2
				Eindicken 2			Flotation 2

Abbildung 11: Prozessvarianten

**Bewertung der Konzeptvarianten**

Zur Bewertung der Konzepte wurde die schon aufgezeigte erforderliche Rejektrate zur Abtrennung aller abgelösten Druckfarben in der Flotation 1 herangezogen. Die Effizienz der Druckfarbenablösung und Druckfarbenzerkleinerung im Disperger wurde aus der jeweiligen Druckfarbenpartikelanalyse im Einlauf und Gutstoff der Dispergierung ermittelt. Auch die Abtrenneffizienz von Druckfarben in der Flotation 2 wurde aus den Versuchsergebnissen bestimmt.

Daraus konnte die Zusammensetzung des Einlaufs in die Sekundärflotation und die des Flotates ermittelt und daraus der Stoffverlust durch die Flotation bei optimalem Druckfarbenaustrag abgeschätzt werden.

Aus der Korrelation der Druckfarbenmenge < 50 µm und der Weißgrade je Altpapiersorte kann der erzielbare Weißgrad je Prozessvariante abgeleitet werden.

**Relativvergleich der Konzepte und Altpapierpreise**

Der spezifische Energiebedarf und die Verluste für die verschiedenen Konzepte im Relativvergleich bezogen auf Variante 1 und die Unterschiede im Preisniveau für die untersuchten Altpapiersorten sind nachfolgend aufgezeigt.

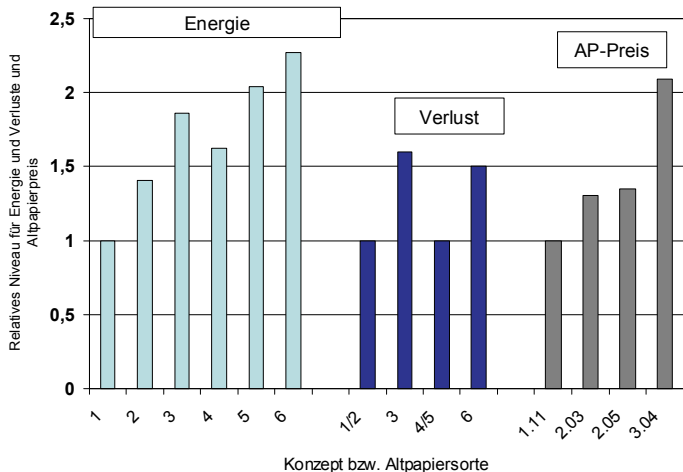


Abbildung 12: Relativvergleich der Konzepte und Altpapierpreise

**Bewertung des Potenzials der Altpapiersorten je Prozessvariante**

Folgende Abbildung zeigt die Druckfarbenmenge, die erzielbaren Weißgrade und Schmutzpunktf lächen > 50 µm sowie die Kosten je Konzept und Altpapiersorte.

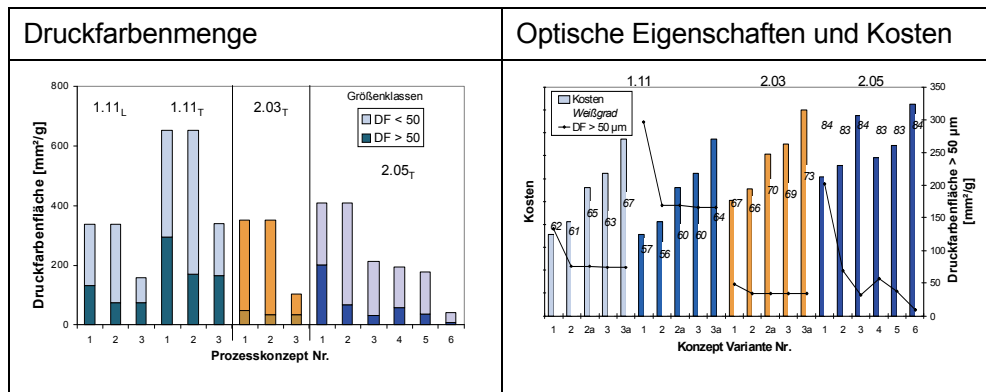


Abbildung 13: Potenzial der Altpapiersorten und Aufbereitungskosten je Konzept

---

**Fazit  
Erforderliche  
Prozessstufen  
und Prozessbe-  
dingungen**

- Holzhaltige Altpapiersorten:

Zwingend erforderlich ist eine der Dispergierung vorgeschaltete Flotation zur Abtrennung aller abgelösten Druckfarbenpartikel. Die für die verschiedenen Altpapiere erforderlichen Rejektraten konnten aufgezeigt werden.

Im Hinblick auf Verlustminimierung kann bei optimaler Druckfarbenentfernung bei geringeren Anforderungen an die optischen Eigenschaften wie bei deinkten Stoff für Zeitungsdruckpapier auf einen 2-stufigen Flotationskreislauf verzichtet werden.

Unter Kostenaspekten ist der Einsatz von Bleichchemikalien bei einem 1-stufigen Flotationskreislauf oder das Zumischen mittlerer Sorten ohne 2-stufigen Flotationskreislauf günstiger zu bewerten.

Erst bei höheren Anforderungen sind aufwendigere Prozessstufen unter Einsatz von Bleichchemikalien notwendig.

- Holzfremde Altpapiersorten

Für einen optimalen Druckfarbenaustrag ist ein geeignetes Partikelgrößenspektrum vor der Flotation notwendig. Durch eine der Flotation vorgeschaltete Dispergierung (u. U. Doppeldispergierung) werden sowohl die Fragmentierung als auch die Ablösung unterstützt. In einer der Dispergierung nachgeschalteten Flotation müssen die Rejektraten so eingestellt werden, dass alle abgelösten Druckfarben wirkungsvoll entfernt werden. Eine weitere Dispergierung und Flotation werden unter Verlustaspekten als nicht erforderlich erachtet.

Bei dieser Prozessvariante ist zu beachten, dass bei Anteilen an Klebstoffapplikationen im Altpapier ein effizienter Austrag an Makrostückys in den Sortierstufen vor einer Dispergierung sichergestellt sein muss.

Für die Sorte Büroaltpapier kann bei optimaler Zusammensetzung von einem vergleichbaren Niveau wie bei der Sorte hf weiße Späne mit leichtem Andruck ausgegangen werden. Bei Anteilen an massegefärbten Papieren und Ink Jet Drucken wird eine reduktive Nachbleiche und bei höherem Anteil an Ink Jet Drucken eine Kreislaufwasserreinigung empfohlen. Bei Multidruck empfiehlt sich eine Doppeldispergierung oder Dispergierung bei höherem Energieeintrag.

---

**Ansprechpartner für weitere Informationen:**

Dr.-Ing. Alf-Mathias Strunz  
Tel. 03529 / 551-684  
[alf-mathias.strunz@ptspaper.de](mailto:alf-mathias.strunz@ptspaper.de)

Dipl.-Ing. Adrian Manoiu  
Tel. 03529 / 551-680  
[adrian.manoiu@ptspaper.de](mailto:adrian.manoiu@ptspaper.de)

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

e-Mail: [info@ptspaper.de](mailto:info@ptspaper.de)  
[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

## Literaturverzeichnis

- 1 H. Schuster und E. Hanecker:  
Rohstoff- und Prozessbenchmarking der deinkenden Papierindustrie,  
Internationale Papierwirtschaft (2004) 9, T157-T160
- 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 Kappen J. u. Hamann L.  
Entwicklung einer Systemanalyse zur Kontrolle der Schmutzpartikel bei der Erzeugung von Papieren aus  
Deinkingstoff  
Forschungsvorhaben PTS-INNO-WATT-Nr. IW 50282 (Laufzeit 01.02.2005 – 31.12.2006)
- 5 Klein R.; Schulze U. u. E. Hanecker  
Stand und Entwicklungstrend der messtechnischen Bewertung von optischen Inhomogenitäten als  
Grundlage einer Prozessbeurteilung und –optimierung,  
Wochenblatt für Papierfabrikation 7 (2006) 350-358
- 6 Schramm S.  
Optimierung von Deinkinganlagen mit Hilfe einer mobilen Deinkingzelle  
PTS Forschungsbericht PTS-FB 06/00
- 7 E. Hanecker, G. Bär, K. Blasius, M. Klein  
Verfahrenskombinationen zur Druckfarbenentfernung bei hochwertigen graphischen Altpapieren  
13. PTS-CTP-Deinking-Symposium, München: PTS 2008, PTS Symposium DE 2008
- 8 Frank E.  
Offset-Druckfarben - Trends und technische Anforderungen  
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium, München: PTS 2006, PTS Symposium DE 2006