

Titel**Entwicklung einer Systemanalyse zur Kontrolle der Schmutzpartikel bei der Erzeugung von Papieren aus Deinkingstoff**

L. Hamann, J. Kappen

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Abstract	3
3	Einleitung	5
4	Grundlagen zur analytischen Bestimmung der Druckfarbenpartikel	8
5	SystemCheck Stock Preparation Modul Optische Eigenschaften	11
6	Weiterentwicklung der Analyse der Druckfarbenpartikel	12
7	Bewertung der Druckfarbenentfernung anhand von Bilanzen und ausgewählten Kenngrößen zur Schwachstellenanalyse	16
7.1	Übersicht der Tools zur Auswertung und Bewertung	16
7.2	Übersicht der Druckfarbenpartikel in den untersuchten Papierfabriken	17
7.3	Effizienz der Prozessstufen zur Druckfarbenablösung und zum Druckfarbenaustrag	22
7.4	Bewertung der Druckfarbenentfernung (Beispiel)	23
7.5	Zusammenstellung der wesentlichen Tools (Druckfarbenpartikel, Weißgrad, K ₇₀₀) zur Bewertung der Druckfarbenentfernung	26
8	Bilanzierbarkeit optischer Kennwerte	27
9	Simulationsmodelle	29
10	Optimierungskonzepte	31
	Literaturverzeichnis	33

1 Zusammenfassung

Thema	Entwicklung einer Systemanalyse zur Kontrolle der Schmutzpartikel bei der Erzeugung von Papieren aus Deinkingstoff
Ziel des Projektes	Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung einer systematischen, vollständigen und standardisierten Vorgehensweise zur Bewertung und Optimierung der Abtrennung von Druckfarbenpartikeln in Altpapierstoffaufbereitungsanlagen.
Vorgehen	Im Rahmen des Projekts wurde der Ist-Zustand hinsichtlich der Druckfarbenentfernung in drei Deinkinganlagen ermittelt. Anhand der Systemaufnahmen und der daraus resultierenden Auswertungen wurden die für die Vorgehensweise notwendigen Tools hinsichtlich Planung, Auswertung, Bewertung und Simulation sukzessive weiterentwickelt und einer Anwendung zugänglich gemacht.
Messung der Schmutzpunkte	<p>Im Rahmen des Projektes wurden innovative Methoden zur Probenvorbereitung und neue Tools zur Auswertung der Messergebnisse entwickelt. Auf dieser Basis ist es nun erstmals möglich, an allen Stoff- und Wasserströmen, die für eine Bilanzierung notwendig sind, die absolute Beladung des Faserstoffs mit Druckfarbenpartikeln, ausgedrückt z.B. in n/kg bzw. mm²/kg, zu ermitteln. Neu ist ebenfalls, dass diese Beladung für das gesamte Größenspektrum von 1 - 5000 µm messbar ist. Dies gelang trotz der sehr unterschiedlichen Messmethodiken, die für die Messung von großen und kleinen Druckfarbenpartikeln eingesetzt werden.</p> <p>Damit können jetzt erstmals kleine und große Schmutzpartikel anhand gemeinsamer Kennzahlen (z.B. Summenbildung u.a.) ausgewertet und für die Prozessbewertung eingesetzt werden.</p> <p>Im Rahmen des Projekts konnte die neu entwickelte Methode zur Messung der Größenverteilung von Druckfarbenpartikeln zum ersten Mal in Papierfabriken in allen Prozessstufen der Aufbereitungsanlage erfolgreich angewandt werden. Es gelang eine Anwendung der Analysenmethode in undeinkten und deinkten Faserstoffsuspensionen, in Flotaten und Filtraten.</p>
Entwickelte Tools	Unter Nutzung der erfassten Daten konnten zahlreiche Tools und Kennwerte zur übersichtlichen Darstellung und zur Bewertung der Druckfarbenentfernung in den einzelnen Prozessschritten neu erarbeitet und bestehende verbessert werden. Insbesondere mit Hilfe der Bestimmung der absoluten Mengen an Druckfarbenpartikeln über das gesamte Größenspektrum ist ein Durchbruch bei der Bewertung der Druckfarbenentfernung und der dadurch zielgerichteten Bestimmung der Schwachstellen möglich geworden.

Prozess- simulation	<p>Erstmalig überhaupt wurden im Rahmen dieses Projektes Druckfarbenpartikel im Größenspektrum 1-5000 µm in Deinkinganlagen bilanziert, modelliert und einer Simulation verfügbar gemacht. Die Prozesssimulation wurde so weiterentwickelt, dass auch unterschiedliche Größenklassen an Druckfarbenpartikeln modelliert und simuliert werden können. Das erstellte Simulationstool ermöglicht es, die Auswirkungen eines veränderten Altpapiereinsatzes, einer Modifizierung der Schaltung sowie einer Variation der Rejekt- bzw. Überlaufraten in einzelnen Aggregaten bzw. Prozessschritten zu ermitteln.</p>
Vorgehensweise	<p>Im Rahmen des Projekts konnte eine systematische Vorgehensweise zur Bewertung und Optimierung der Abtrennung von Druckfarbenpartikeln in Altpapierstoffaufbereitungsanlagen erarbeitet werden. Diese umfasst das Vorgehen bei der Prozessanalyse vor Ort, die Analyse der gesammelten Proben, die Darstellung und Bewertung der Analysenergebnisse, die Bilanzierung der Anlage und einen Vorschlag zur Simulation der Druckfarbenpartikel sowie der resultierenden optischen Eigenschaften.</p> <p>Anhand dieser Vorgehensweise können wirkungsvoll Maßnahmen zur Minimierung der Schmutzpunkteladung des Fertigstoffs und damit zur Verbesserung der optischen Eigenschaft „Weißgrad“ unter gleichzeitiger Beachtung der ökonomischen Randbedingungen (Ausbeute) abgeleitet werden. Für die beteiligten Papierfabriken konnten im Rahmen des Projekts die Vorgehensweise zum ersten Mal angewandt und Optimierungskonzepte abgeleitet werden.</p>
Vorgeschlagene Optimierungs- konzepte	<p>Für die Deinkinganlagen der beteiligten Papierfabriken wurden auf Basis des erarbeiteten Verfahrens zur Prozessanalyse Optimierungskonzepte erstellt. Wichtige Elemente hierzu waren neben der Optimierung der Prozessführung / Schaltung bei gleichzeitiger Reduzierung der Stoffverluste auch eine Optimierung des Altpapiereinsatzes und eine Reduzierung des Chemikalieneinsatzes.</p>
Wirtschaftliche Auswirkungen der Optimie- rungspotenziale	<p>Durch die Anwendung des neuen Moduls „optische Eigenschaften“ im Rahmen des SystemCheck Stock Preparation lassen sich in den Deinkinganlagen nennenswerte Kosteneinsparungen erzielen. Durch die Umsetzung von Maßnahmen, die auf der Basis der Anwendung der Ergebnisse dieses Projektes erarbeitet werden, sind Einsparungen von 2,5 – 7,4 €/t produziertem Papier in der jeweiligen Papierfabrik zu erwarten.</p>
Danksagung	<p>Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. IW 050282 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.</p> <p>Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier- und Zulieferindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.</p>

2 Abstract

Theme	Development of a system analysis for dirt particle control in paper production from deinked pulps
Objective of the project	The project aimed at elaborating a systematic, comprehensive and standardised evaluation and optimisation procedure for the deinking performance of recycled pulp treatment plants.
Procedure	The status-quo of the dirt specks removal was determined in three deinking plants. Based on the system analysis and the resulting evaluations the tools for planning, evaluation, assessment and simulation were gradually developed.
Measurement of dirt speck particles	<p>Innovative methods for sample preparation and new tools for the evaluation of the measurement results were developed. For the first time it is possible to measure the absolute loading of dirt speck particles in all pulp and water streams. New as well is the measurement of the loading across the whole size spectrum from 1 – 5000 µm. For the first time small and large dirt speck particles can be evaluated in a summarized way by joint characteristics, and used for process assessment.</p> <p>For the first time the new method measuring the size distribution of ink particles could be used successfully in all process steps of deinking plants. The analysis method could be applied in undeinked and inked pulps, in flotates and filtrates.</p>
Tools developed in the project	The project data were used to develop and optimise many tools and characteristics for the presentation and evaluation of dirt particle removal by the various process steps. Especially the measurement of absolute ink particle amounts across the whole size spectrum led to a breakthrough in the assessment of ink particle removal and the determination of weak points.
Process simulation	For the first time ever ink particles sized between 1 – 5000 µm were balanced, modelled and used in simulations. The process simulation is now capable of modelling and simulating the different size classes of ink particles. The newly developed tools simulate the effects of changed raw material inputs, of process modifications and of variations in the reject rates of individual plant units or process stages.
Procedure SystemCheck Stock Preparation Modul Optical Properties	<p>The project has resulted in a systematic procedure to evaluate and optimize the dirt speck removal in recycled fibre treatment plants. It includes the following steps: on-site process analysis, analysis of the samples collected, presentation and evaluation of results, balancing of the plant as well as a proposal for the simulation of ink particles and resulting optical properties.</p> <p>Based on this procedure, highly effective measures may be derived to minimize the dirt speck load and improve optical characteristics such as brightness, taking into account economic factors (yield).</p>

Proposed optimization concepts	The procedure was used for process analyses of the deinking plants of participating paper mills, and optimisation concepts were derived. Main optimization targets included the process design/circuitry and solids loss reduction, recovered paper use, and chemical additions.
Economic effects of the application of SystemCheck	The application of the new module Optical Properties of the SystemCheck Stock Preparation permits appreciable cost savings in the deinking plant. It enables the mills to lower their production costs by 2.5 – 7.4 €/t paper produced.
Acknowledgement	<p>The results presented in this report were obtained within the scope of research project No. IW 050282 funded by the Federal Ministry of Economics and Technology – under the umbrella of EuroNorm – in the programme for the "Promotion of Research, Development and Innovation in Small and Medium-sized Enterprises and External Industrial Research Institutions in the New German Countries". We would like to express our gratitude for this funding and support.</p> <p>Also we would like to thank the involved mills for supporting the research works.</p>

3 Einleitung

Ausgangssituation

Aus Deinkstoff hergestellte Papiere haben einen hohen Anspruch an die optischen Eigenschaften. Ein wesentlicher Parameter zur Beurteilung dieser Eigenschaft ist neben den integralen Kenngrößen wie Weißgrad und Hellbezugswert die Menge der Schmutzpunkte. In den letzten Jahren ist ein deutlicher Anstieg der Schmutzpunkte im Papier zu verzeichnen, der hauptsächlich folgende Ursachen hat:

- Der Anteil an Druckfarben im eingesetzten Rohstoff Altpapier steigt kontinuierlich an.
- Durch die Erhöhung der Kapazitäten werden zahlreiche Aufbereitungsanlagen an ihren Leistungsgrenzen betrieben. Dies hat eine ungünstige Arbeitsweise und eine unerwünschte Zerkleinerung der Schmutz- und Druckfarbepartikel zur Folge. Dadurch lassen sich Druckfarbepartikel schlechter abtrennen.

Um diesen Trends entgegenzuwirken, werden größere Chemikalienmengen eingesetzt, höhere Flotatmengen in den einzelnen Aufbereitungsschritten akzeptiert sowie aufwändige verfahrenstechnische Lösungen in der Stoffaufbereitung realisiert. Diese Maßnahmen haben jedoch steigende Kosten zur Folge.

Prozessanalyse

Zur Bewertung und Optimierung von Stoffaufbereitungsanlagen werden von der PTS verschiedene Prozessanalysen angeboten, die unterschiedliche Schwerpunkte abdecken. Zur Bewertung und Optimierung der Druckfarbenentfernung, bei der die oben genannten Gesichtspunkte berücksichtigt werden, waren vor der Projektdurchführung einige wesentliche Hilfsmittel und Tools noch nicht in ausreichendem Maße verfügbar und sollten deshalb im Rahmen des Forschungsprojekts weiterentwickelt werden.

Basis der Projektbearbeitung

Als Basis des Projektes diente das vorhandene Wissen über das Vorgehen bei der Prozessanalyse in den bereits entwickelten Modulen „Stickys“ und „Ausbeute“ des SystemCheck Stock Preparation. Basis war ferner die bildanalytische Methode zur Messung der absoluten Beladung des AP-Stoffs mit Druckfarbepartikeln für das gesamte Partikelgrößenspektrum von 1 – 5000 µm, die über mehrere Jahre an der PTS entwickelt wurde und seit kurzem verfügbar ist, aber vor der Projektdurchführung noch nicht in der Praxis genutzt worden ist [1].

Bewertung der Druckfarbenpartikelabscheidung	<p>Erheblicher Forschungsbedarf bestand bei der Beurteilung von Deinkinganlagen. Bislang wurden Messgrößen angewandt, die nur undifferenziert eine allgemeine Wirksamkeit der Verfahrensstufen zur Druckfarbentfernung nachweisen. Im Rahmen des Projekts war deshalb nachzuweisen, in welcher Weise der Einsatz der neuen Methode zur Bestimmung der Schmutzpunkt-Partikelgrößenverteilung auch in kleinen Größenklassen eine differenziertere Betrachtung der Wirksamkeit einzelner Prozessstufen ermöglicht. In der Folge war die Frage zu beantworten, wie die vorhandene Analysenmethode optimal genutzt werden kann, um Anlagen zu bewerten. Eine vollständige Abbildung und Bilanzierung der Druckfarbenpartikel einschließlich der Bestimmung der Partikelgrößenverteilung im System war bisher ebenfalls nicht verfügbar.</p>
Bewertung der Gesamtanlage	<p>Aufbauend auf die Anwendung der neuen Analysenmethode war die Frage zu beantworten, in welcher Weise sich die erzielten Ergebnisse in eine Systematik zur Prozessanalyse integrieren lassen. Dabei sollten Aussagen zu den Schwachstellen des Prozesses und den daraus ableitbaren Optimierungspotenzialen ermöglicht werden. Wichtigste Herausforderung war das bisher nicht gelöste Problem, sämtliche Anforderungen an eine effektive Abtrennung von Druckfarbenpartikeln für das gesamte Partikelgrößenspektrum in einer bestehenden Anlage übergreifend zu bewerten. Vorhandene Untersuchungs- und Bewertungsansätze zu Stoffaufbereitungen berücksichtigten in der Vergangenheit aus dem Feld von Zielkriterien nur Teilaspekte, ermöglichten jedoch keine Gesamtbewertung. Es fehlten Tools, mit deren Hilfe Analysen- und Anlagendaten effektiv bewertet werden konnten sowie Methoden zur objektiven Gesamtbewertung von Stoffaufbereitungslinien.</p>
Korrelationen zwischen der Partikelgrößenverteilung und optischen Eigenschaften	<p>Um die Ergebnisse zur Bewertung des Deinkingprozesses in der Praxis nutzen zu können, sollten Menge und Größenverteilung der Druckfarbenpartikel in den Proben in die praxisrelevanten optischen Eigenschaften umgerechnet werden. Eine solche Relation wurde bisher nicht bestimmt. Schlüssel hierfür war die Nutzung der neu verfügbaren Technologie zur Bestimmung der Anzahl und Verteilung kleiner Druckfarbenpartikel.</p>
Prognose optischer Eigenschaften	<p>Bisherige Modellbildungen ermöglichten keine quantitative Prognose der optischen Eigenschaften bei einer Prozessänderung. Durch die Nutzung der Größenverteilung der Druckfarbenpartikel sollte hier eine Lösung gefunden werden, da mit dem Messdatensatz bilanzierbare Größen und Verteilungen vorliegen.</p>

Forschungsziel Ziel des abgeschlossenen Forschungsprojekts war die Erarbeitung einer systematischen, vollständigen und standardisierten Vorgehensweise zur Bewertung und Optimierung der Abtrennung von Druckfarbenpartikeln in Altpapierstoffaufbereitungsanlagen. Anhand dieser Vorgehensweise können wirkungsvolle Maßnahmen zur Optimierung der optischen Eigenschaften, wie Weißgrad und Schmutzpunkte sowie zur Verringerung der Feststoffverluste in Stoffaufbereitungsanlagen abgeleitet werden.

Dazu ist die Beladung an Druckfarbenpartikeln und insbesondere deren Größenverteilung im Gesamtprozess der Stoffaufbereitung an verschiedenen Stellen zu erfassen. Ein Hauptaugenmerk wird auf diejenigen Stellen gelegt, an denen eine Veränderung der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung bzw. eine Ausschleusung an Druckfarbenpartikeln stattfindet. Außerdem werden alle prozess- und rohstoffrelevanten Daten ermittelt, die zur Bewertung der Druckfarbenentfernungsprozesse und deren Einfluss auf die optischen Eigenschaften im Fertigstoff benötigt werden.

Die im Rahmen des Projekts erarbeitete Vorgehensweise (Prozessanalyse Deinking) und die daraus resultierenden Ergebnisse ermöglichen eine zielgerichtete Bestimmung von Schwachstellen bei der effizienten Entfernung von Druckfarbenpartikeln in der Stoffaufbereitung. Insbesondere die Erfassung der Größenverteilung der Druckfarbenpartikel im gesamten Prozess der Stoffaufbereitung stellt die Grundlage dafür dar, Optimierungspotenziale zur Verbesserung der optischen Eigenschaften im Deinkstoff und somit auch im Fertigstoff zu identifizieren. Maßnahmen zur Optimierung von Weißgrad, Sauberkeit und Feststoffverlusten in Stoffaufbereitungsanlagen können abgeleitet werden. Die wirtschaftliche Gestaltung der Produktionstechnik und -technologie kann daraufhin verbessert werden.

4 Grundlagen zur analytischen Bestimmung der Druckfarbenpartikel

Bilanzierbare Messgrößen

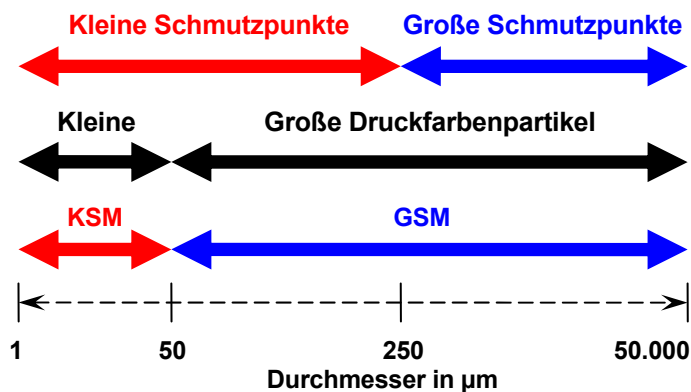
Durch die messtechnische Bestimmung von optischen Inhomogenitäten (Schmutzpunkten) mit Hilfe der Bildanalyse steht eine Messmethode zur Verfügung, mit der man die optischen Eigenschaften anhand bilanzierbarer Größen bewerten kann. Dabei können alle Partikel, insbesondere die dunklen Druckfarbenpartikel, größer als 1 µm bildanalytisch detektiert werden, wenn sie sich hinsichtlich der Helligkeit vom Hintergrund und anderen Probenbestandteilen, z.B. Fasern, unterscheiden.

Größenspektrum

Die messbaren optischen Inhomogenitäten werden durch Druckfarbenpartikel und größere Agglomerationen an dunklen Partikeln verursacht. Dabei haben die kleinen Druckfarbenpartikel in der Regel einen signifikanten Einfluss auf den Weißgrad. Größere Partikel als 250 µm (große Schmutzpunkte) führen zu den gut sichtbaren Schmutzpunkten im Fertigstoff Papier.

Die folgende Abbildung zeigt eine Einteilung des Größenspektrums mit den derzeit üblichen Bezeichnungen. Sämtliche optischen Inhomogenitäten werden dabei als Schmutzpunkte bezeichnet.

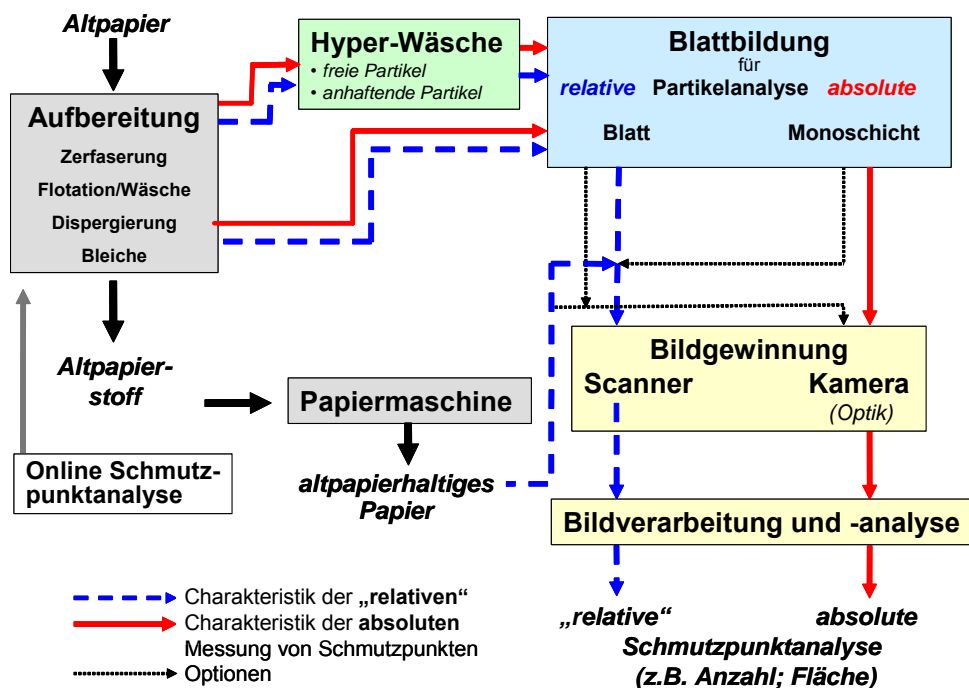
Die Bestimmung der optischen Inhomogenitäten wird in der Regel als Schmutzpunktmessung bezeichnet. Da die Bestimmung der kleinen und der großen Druckfarbenpartikel, wie nachfolgend noch genauer erläutert, in der Probenvorbereitung und der Messtechnik sehr unterschiedlich ist, wird zwischen der kleinen und der großen Schmutzpunktmessung (KSM und GSM) unterschieden.



Da sowohl die kleinen als auch die großen Schmutzpunkte erheblichen Einfluss auf die optischen Eigenschaften eines Stoffes bzw. eines Fertigpapiers haben, ist es erforderlich, die absolute Beladung des Altpapierstoffes mit Druckfarbenpartikeln für das gesamte Partikelgrößenspektrum von 1 µm bis 5000 µm vor und nach dem Prozess zu ermitteln [1, 2, 3].

Messschema

Die Methode der Messung von Druckfarbenpartikeln (Schmutzpunktmessung) ist in folgender Abbildung übersichtlich dargestellt [1]:

**Probearten**

Die Messung der optischen Inhomogenitäten kann an Papier, Stoffproben und an hypergewaschenen Stoffproben durchgeführt werden.

Blattbildung

Vor der Partikelanalyse mittels Scanner oder Kamera ist bei Stoffproben eine Blattbildung erforderlich. Je nach zu analysierender Partikelgröße erfolgt die Blattbildung mit Hilfe von Membran- oder Laborfiltern. Diese erfolgt in der Regel mit einer entsprechenden Nutsche, kann bei den großen Laborfiltern auch am Rapid-Köthen-Blattbildner durchgeführt werden (RK-Filter). Bei Papierproben ist selbstverständlich keine weitere Blattbildung erforderlich.

Absolute Messung

Durch die Bildung einer Monoschicht an Fasern und Druckfarbenpartikeln auf dem Filter kann eine absolute Messung der Anzahl und der Fläche der Druckfarbenpartikel gewährleistet werden, da hierbei keine Überlagerungen stattfinden. Der Messwert kann in Anzahl bzw. Fläche bezogen auf Masse Stoff oder bezogen auf eine Zeiteinheit angegeben werden.

Um eine Monoschicht an Faserstoff und Schmutzpunkten auf einem Filter zu erhalten, ist es erforderlich, eine entsprechende Verdünnung der Stoffsuspension vor der Blattbildung herzustellen. Die besten Erfahrungen wurden bisher mit Monoschichten von 1 bis 5 g/m² Altpapierstoff erzielt [4].

Nur bei dieser speziellen Probenpräparation lassen sich quantitative massenbezogene Aussagen bis zu einer bestimmten Partikelgröße in Abhängigkeit von der Auflösung des Messsystems ableiten, da sie sicherstellt, dass auch die im Probeninneren befindlichen Druckfarbenpartikel mit erfasst werden.

Bildgewinnung Bei Partikeln größer 50 µm erfolgt die Bildgewinnung mittels Scanner am Laborfilter (GSM). Die Partikel kleiner 50 µm werden mit einer Kamera detektiert. Zwischen Probe und Kamera dient ein Mikroskop zur optischen Bildvergrößerung (KSM). Außerdem sollte die Messfläche im Hinblick auf die statistische Sicherheit der Messergebnisse ausreichend groß sein.

Bildverarbeitung und -analyse Nach entsprechender Bildverarbeitung können die Druckfarbenpartikel mit dem Schmutzpunktmodul des DOMAS-Systems in unterschiedlichen Größenklassen analysiert werden.

Attached Ink / Free Ink An den nicht behandelten Stoffproben und am Papier werden alle erfassbaren Druckfarbenpartikel analysiert. Dies ist die Summe aus gebundenen und freien Druckfarbenpartikeln. Zur Trennung der freien Druckfarbenpartikel von den gebundenen kann eine Hyperwäsche angewandt werden. Die so gewonnene Stoffsuspension enthält dann nur noch gebundene Druckfarbenpartikel (Attached Ink). Durch Differenzbildung kann die Menge an freien Druckfarbenpartikeln berechnet werden (Free Ink).

KSM und GSM Folgende Tabelle zeigt die Unterschiede der kleinen und der großen Schmutzpunktmessung in einer Übersicht:

	KSM	GSM
Detektierte Partikelgröße	1 – 50 (30) µm	50 (30) – 50000 µm
Blattbildung	Membranfilter	Papierfilter
Bildgewinnung	Kamera (nach Vergrößerung mit Mikroskop)	Scanner
Detektierte Fläche	Ca. 1,4 cm ² (500 x 0,289 mm ²)	Ca. 132 cm ²

5 SystemCheck Stock Preparation Modul Optische Eigenschaften

Einleitung

Die Entwicklung einer Methodik zur systematischen, vollständigen und standardisierten Vorgehensweise zur Bewertung und Optimierung der Abtrennung von Druckfarbenpartikeln in Altpapieraufbereitungsanlagen erfolgte anhand von Prozessanalysen in drei unterschiedlichen Papierfabriken.

Diese Prozessanalysen wurden nach einem einheitlichen Schema durchgeführt, das im Laufe des Projektfortschritts sukzessiv erarbeitet und optimiert wurde. Dabei wurden in den ersten beiden Papierfabriken, die unterschiedliche Stoffaufbereitungskonzepte haben, die grundlegenden Elemente des System-Check Stock Preparation Modul Optische Eigenschaften entwickelt. In der dritten Papierfabrik wurde dann die Anwendbarkeit überprüft.

Auf der Basis dieser Prozessanalysen und der entsprechenden Auswertungen wurde eine endgültige Methodik festgelegt.

Aufgrund des sehr umfangreichen Datenmaterials können im Rahmen der Veröffentlichung nur ausgewählte Ergebnisse dargestellt werden.

Arbeitsschritte

Die im Forschungsprojekt durchgeführten Arbeiten gliederten sich in folgende Schritte:

1. Konzeptentwicklung
2. Prozessaufnahmen (Systemaufnahmen)
 - Auswahl der untersuchten Papierfabriken
 - Festlegung der Untersuchungsziele in den einzelnen Papierfabriken
 - Erweiterung der Systematik zur Datenerfassung (Toolentwicklung)
 - Planung der Prozessaufnahmen
 - Durchführung der Prozessaufnahmen
3. Analyse der Schmutzpartikel und integralen Messgrößen
4. Erstellung und Auswertung der Stoff-Wasserbilanzen und ausgewählter Kenngrößen zur Schwachstellenanalyse
5. Weiterentwicklung der Simulationsmodelle
6. Bilanzierbarkeit optischer Kennwerte
7. Erarbeitung von Optimierungskonzepten für die beteiligten Papierfabriken
 - Auswertung der Prozessaufnahmen anhand der erarbeiteten Tools
 - Ableitung von Maßnahmenplänen
 - Wirtschaftlichkeitsrechnungen
 - Überprüfung und Bewertung der Anwendbarkeit und des Nutzens

Durchführung des System-Check Stock Preparation Modul Optische Eigenschaften

Auf der Basis einer vollständigen und effektiven Datenaufnahme wird mit den erarbeiteten standardisierten Tools eine Prozessbewertung durchgeführt. Auf Basis dieser Bewertungen werden Optimierungskonzepte erstellt, deren Realisierbarkeit mit Hilfe von Simulationsrechnungen überprüft und beurteilt wird. Die erarbeiteten Optimierungskonzepte werden wirtschaftlich bewertet. Technische und gleichzeitig wirtschaftlich Erfolg versprechende Maßnahmen werden zu einem Maßnahmenkatalog zusammengefasst und der Papierfabrik für eine Umsetzung vorgeschlagen (siehe auch [5, 7, 8]).

6 Weiterentwicklung der Analyse der Druckfarbenpartikel

Einführung Basis für die Durchführung des abgeschlossenen Forschungsprojekts war bei der Antragstellung die an der PTS entwickelte Bestimmung der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung von 1 – 5000 µm, die in Abschnitt 4 bereits ausführlich dargestellt worden ist.

Dabei ist vor allem zwischen der Messung der relativen und der absoluten Druckfarbenpartikel zu unterscheiden. Über die Messung der relativen Druckfarbenpartikelmengen liegen zahlreiche Untersuchungen und Erfahrungen vor, während die Bestimmung der absoluten Druckfarbenpartikelmengen bislang nur in Einzelfällen durchgeführt wurde. Eine Bilanzierung anhand dieser Messungen wurde bislang überhaupt noch nicht durchgeführt.

So wurde die absolute Messung der kleinen Schmutzpunkte (KSM) bislang nur an undeinkten und deinkten Stoffproben durchgeführt, die durchschnittlich an Druckfarbenpartikeln belastet waren. Weitere für eine Bilanzierung der Stoffaufbereitung notwendige Proben wurden vor Durchführung des Forschungsprojekts in der Praxis, d.h. an Proben aus Papierfabriken, noch nicht vermessen. Gleiches gilt für die absolute Messung der großen Schmutzpunkte (GSM).

Ziele der Weiterentwicklung

Aufgrund der Ergebnisse bei den Betriebsuntersuchungen in der 1. Papierfabrik war es notwendig, die analytische Bestimmung der kleinen und großen Druckfarbenpartikel so weiterzuentwickeln, dass folgende Kriterien erfüllt werden:

- Messung unterschiedlicher Probenarten
- Sichere Messung der absoluten Partikelmengen
- Prüfvorschrift
- Kombinierbarkeit der kleinen und großen Schmutzpunktmessung

Untersuchungsprogramm

Getrennt nach kleinen und großen Druckfarbenpartikeln wurden im Rahmen von Laborversuchen folgende Weiterentwicklungen durchgeführt:

	KSM	GSM
Optimierung der Verdünnungsreihe	X	X
Optimierung der Belegung für unterschiedliche Probenarten	X	X
Untersuchung zur Lagerung von verdünnten Proben	X	
Visuelle Überprüfung	X	
Optimierung der Probenvorbereitung		X
Optimierung der Bildgewinnung		X
Optimierung der Bildverarbeitung		X

Optimierung der Messung kleiner Druckfarbenpartikel

Die Ergebnisse der visuellen und der statistischen Auswertung ergaben, dass für eine sinnvolle Schmutzpunktmessung die zu analysierenden Stoff- und Wasserproben in unterschiedliche Stoffklassen einzuteilen sind. Für jede Stoffklasse konnten folgende Belegungen festgelegt werden, mit denen belastbare und statistisch abgesicherte Druckfarbenpartikelmessungen erzielt werden können:

Stoffklasse	Belegung in g/m ²
Undeinkte Stoffe	1 – 0,25
Flotierte / deinkte Stoffe	4 – 0,5
Flotate	0,5 – 0,1
Filtrate von undeinkten Stoffen	0,5 – 0,1
Filtrate von flotierten Stoffen	4 – 0,5

Bei sehr geringen Belegungen (0,05 und 0,025 g/m²) werden in der Regel zu wenige Schmutzpunkte detektiert, so dass für diese Messungen keine statistische Sicherheit gewährleistet ist. Filtrate und Flotate sind meistens mit vielen Schmutzpunkten belastet. In diesen Fällen ist es empfehlenswert, niedrigere Belegungen zu messen, um Überlappungen zu vermeiden.

Flotierte Stoffe sind all diejenigen Stoffe, die in Papierfabriken oder im Labor mindestens eine Deinkingflotation durchlaufen haben. Diese Stoffe weisen mittlere bis niedrige Beladungen an Schmutzpunkten auf, so dass sie mit Belegungen bis zu 4 g/m² gemessen werden können.

Undeinkte Stoffe hingegen haben eine höhere Beladung an Druckfarbenpartikeln, so dass hier eine Belegung von 0,25 bis 1 g/m² empfohlen werden kann.

Die Ergebnisse haben auch gezeigt, dass nicht nur die richtige Belegung Einfluss auf das Messergebnis hat. Die Verdünnungen sollten vor der Blattbildung nicht länger als 1 Tag gelagert werden, da fehlerhafte Messungen durch Agglomerations- und Zerkleinerungseffekte verursacht werden können.

**Optimierung der
Messung großer
Druckfarbenpartikel**

Auf der Basis der Untersuchungen wurde eine neue Messmethodik zur Bestimmung der großen Schmutzpunkte erarbeitet. Diese stützt sich auf folgende wesentliche Punkte:

1. Probenvorbereitung

Herstellung der zwei RK-Filterproben mit einer Belegung von 2 g/m² oder 1 g/m² nach bisheriger Methodenvorschrift für die Probenvorbereitung.

2. Scanvorgang

Die Filterproben werden mit einer Auflösung von 600 dpi nach herkömmlicher Methode unter Verwendung der Kalibrierungsdatei "DOMAS.twn" eingescannt. Hierbei ist besonders auf die Vermeidung welliger Scans und auf eine entsprechende Aufwärmung des Scanners zu achten. Die Doppelbestimmungen werden jeweils zweimal gescannt, wobei zwischen den Scans eine Drehung um ca. 45° notwendig ist.

3. Bildvorverarbeitung

Alle vier Scans werden in einem Bildbearbeitungsprogramm durch geeignete Helligkeits- und Kontrasteinstellung so bearbeitet, dass sie anschließend als Binärbilder abgespeichert werden können. Dieser Prozess kann bereits parallel zum Scanvorgang ausgeführt werden. Hier ist zu beachten, dass mit einem hochwertigen Monitor gearbeitet wird.

4. DOMAS-Messung

Die Binärbilder werden im Schmutzpunktmodul der DOMAS-Auswertesoftware mit manueller Thresholdeinstellung "interaktiv" unter deaktivierter Kalibrierung und einem einheitlichen Threshold von 225 vermessen. Dabei ist darauf zu achten, dass ein großer Bildausschnitt zur Analyse genutzt wird (mindestens 100 cm²).

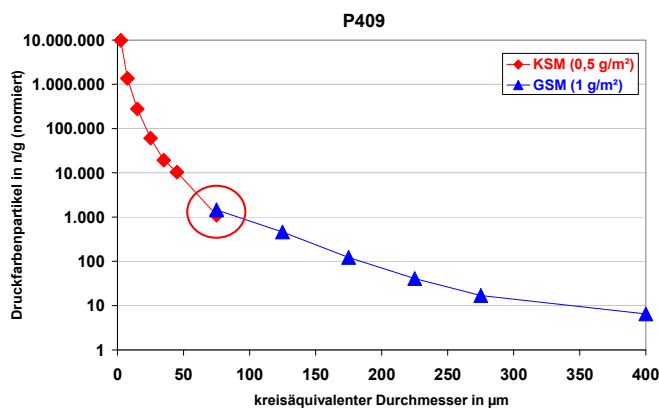
Insbesondere die Auswertung an Binärbildern führt zu signifikant besseren Ergebnissen als eine Bilderkennung an Originalscans. Dabei kann vor allem auf die automatische Bestimmung des Thresholds verzichtet werden, die aufgrund der unterschiedlichen Helligkeiten des Hintergrundes zu schwankenden Threshold-Einstellungen und daraus resultierenden schwankenden Messergebnissen führen kann. Durch die Erzeugung von Binärbildern können diese negativen Einflüsse weitgehend ausgeschlossen werden.

Kombination der kleinen und großen Schmutzpunkt-messung

Um eine Kombination von KSM und GSM zu ermöglichen, werden die Messergebnisse nebeneinander in einem Graphen aufgetragen. Durch Vergleich der Messdaten im Überlappungsbereich (30 - 100 μm) kann beurteilt werden, wie die Messwerte aus den beiden Verfahren kombiniert und zu Gesamtwerten aufsummiert werden können, d.h. welche Belegungen für die Auswertungen ausgewählt werden sollen.

Dabei ist zu beachten, dass die Größenklassen unterschiedlich große Bandbreiten aufweisen, so dass die Anzahl der erfassten Partikel in den einzelnen Größenklassen nicht vergleichbar ist. Daher ist es für die Beurteilung der kombinierbaren Belegungen sinnvoll, die Ergebnisse auf eine einheitliche Größenklassenbandbreite zu beziehen bzw. zu normieren. Bei einer Division des Messwertes durch die Bandbreite der jeweiligen Größenklasse kann eine Normierung auf eine Bandbreite von 1 μm erreicht werden (Ein Beispiel: Bei der Größenklasse 5 - 10 μm wird der Messwert durch 5 dividiert und im Bereich 5 - 10 μm dargestellt). Folgende Abbildung zeigt die Beurteilung an einer undeinkten Probe:

An diesem Beispiel ist sehr gut zu sehen, dass die kleine Schmutzpunkt-messung mit einer Belegung von 0,5 g/m^2 sehr gut mit der Messung der großen Schmutzpunkte bei einer Belegung von 1 g/m^2 kombiniert werden kann.



Zur Kombination der KSM und der GSM ist es von besonderer Bedeutung, dass die beiden Messungen im jeweiligen Einzelfall vergleichbar sind und im Überlappungsbereich zum gleichen Ergebnis führen.

Aufgrund des unterschiedlich hellen Hintergrundes, der durch Papierfasern und Füllstoffe verursacht wird, und aufgrund von Messschwankungen ist die Kombinationsmöglichkeit für jede einzelne Probe zu überprüfen. Anhand der graphischen Auswertung werden diejenigen Belegungen für KSM und GSM ausgewählt, bei denen die beste Überlappung und der sinnvollste Kurvenverlauf festgestellt werden kann.

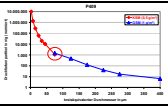
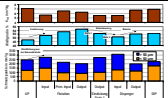
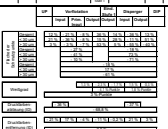
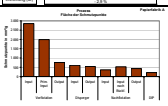
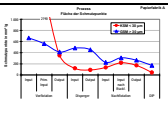
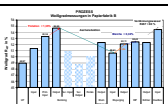
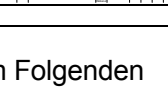
7 Bewertung der Druckfarbenentfernung anhand von Bilanzen und ausgewählten Kenngrößen zur Schwachstellenanalyse

7.1 Übersicht der Tools zur Auswertung und Bewertung

Einleitung

Im Rahmen der drei durchgeführten Prozessanalysen konnten zahlreiche Tools zur Auswertung der Messdaten und zur Bewertung der Druckfarbenentwicklung neu entwickelt oder auf der Basis vorhandener Tools entsprechend für den SystemCheck Stock Preparation Modul optische Eigenschaften weiterentwickelt werden. Da im Rahmen dieser Veröffentlichung nicht alle angewandten und entwickelten Tools im Detail dargestellt und erläutert werden können, soll folgende Tabelle eine Übersicht geben. Das eingefügte Piktogramm soll dabei eine ungefähre Vorstellung der optischen Darstellung des Tools geben. In der Tabelle ist außerdem angegeben, in welchem Umfang die einzelnen Tools zukünftig beim SystemCheck angewendet werden sollen [6].

Übersicht (Ausschnitt)

Art der Darstellung	Dargestellter Bereich	Dargestellte Parameter	Größenspektrum in μm	Anwendung im System-Check	Beispieldarstellung
Größenverteilung (normiert)	Probe	KSM + GSM	1 - 400	++	
Profil, gestapelt	Prozess	Fläche Weißgrad K700-Wert		++	
Reduktionen, Veränderungen	Prozess	Fläche Weißgrad ID IE		++	
Profil	Prozess	Fläche	1 - 5000	++	
			< 50	0	
			> 50	0	
		Fläche	KSM, GSM	++	
			> 50, > 250	+	
		Anzahl	KSM, GSM	+	
			> 50, > 250	0	
Weißgrad		++			
Weißgrad/Asche		+			
K700		++			

Weitere Darstellung in der Veröffentlichung

Die wesentlichsten Auswertungs- und Bewertungstools werden im Folgenden beispielhaft erläutert.

7.2 Übersicht der Druckfarbenpartikel in den untersuchten Papierfabriken

Einleitung

In einem ersten Schritt werden die wesentlichen Daten und Kennwerte der Druckfarbenpartikel (und der integralen optischen Kenngrößen) für die drei untersuchten Deinkinganlagen getrennt aufgezeigt und kurz kommentiert. Folgende Darstellungen haben sich hierzu am besten bewährt.

Gesamtfläche der Druckfarbenpartikel im Prozessverlauf
Gesamtanzahl der Druckfarbenpartikel im Prozessverlauf
Fläche der kleinen und großen Druckfarbenpartikel im Prozessverlauf
Anzahl der kleinen und großen Druckfarbenpartikel im Prozessverlauf
Fläche der großen Druckfarbenpartikel im Prozessverlauf
Größenverteilungen von UP und DIP
Größenverteilungen von UP und DIP, detaillierte Darstellung
Weißgrad im Prozessverlauf
K ₇₀₀ -Wert im Prozessverlauf

Vergleich der drei untersuchten Papierfabriken

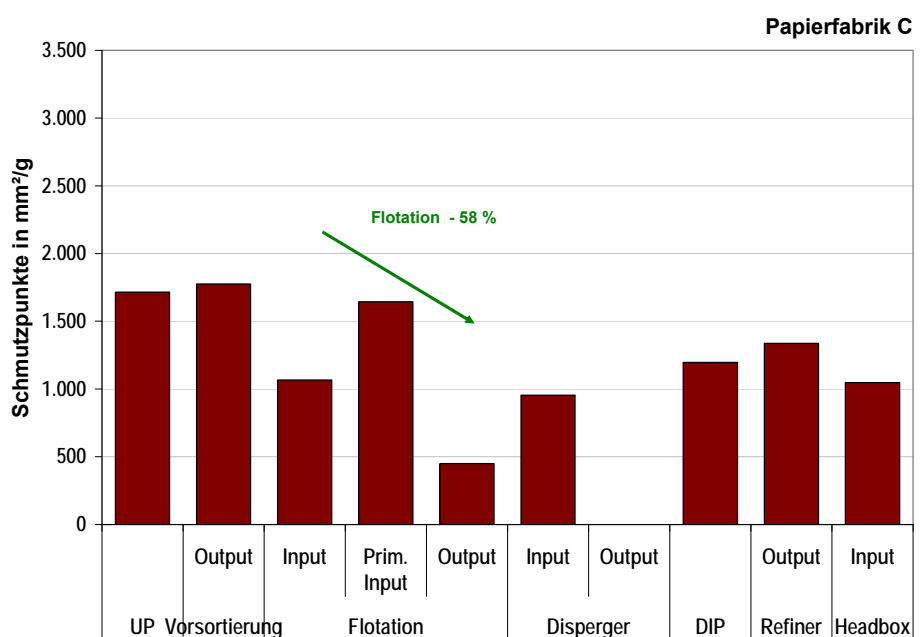
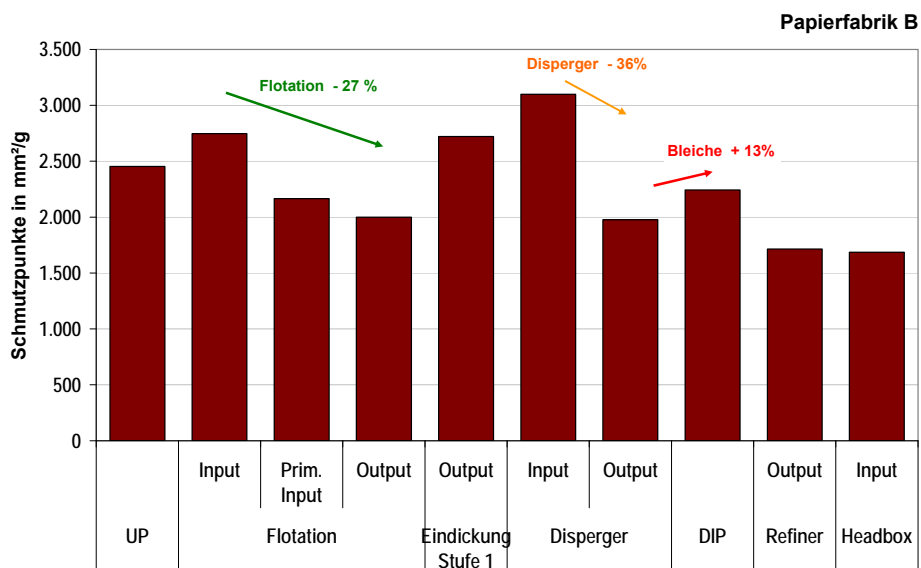
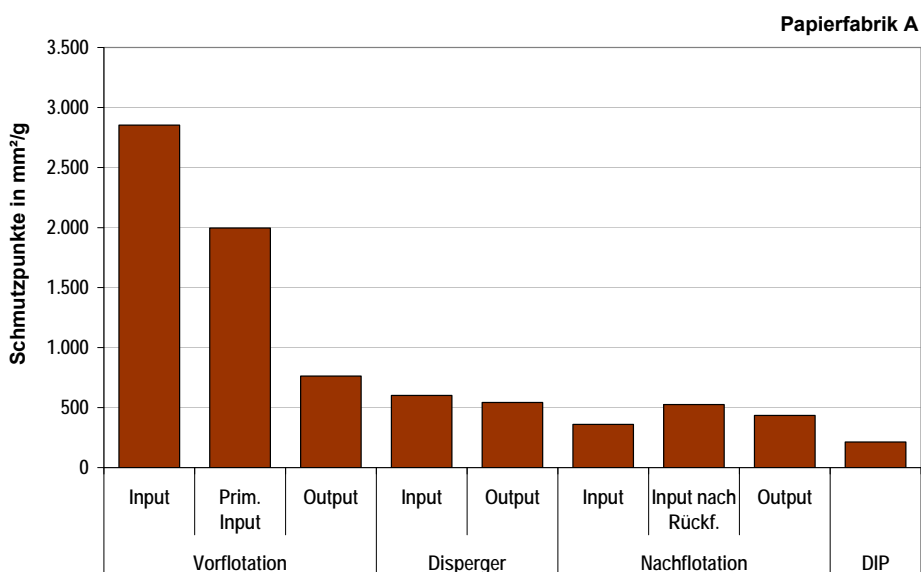
Anhand der Gesamtfläche der Schmutzpunkte ist sehr gut zu sehen, dass bei Papierfabrik A die mit dem Altpapier eingetragenen Druckfarbenpartikel sehr gut durch die Vorflotation und in geringem Maße auch in der Nachflotation ausgetragen werden. Bei den beiden anderen Papierfabriken ist die Abtrennung der Druckfarbenpartikel im Gesamtergebnis als sehr gering zu bezeichnen.

Aufgeteilt nach den kleinen und großen Druckfarbenpartikeln zeigt die Profildarstellung vor allem sehr deutlich die Auswirkungen der Fragmentierung der Druckfarbenpartikel in der Dispergierung und in der nachfolgenden Bleiche. So kann nach der Dispergierung in der Regel eine Abnahme der großen Druckfarbenpartikel beobachtet werden (siehe vor allem Papierfabrik B). Die Zunahme der kleinen Druckfarbenpartikel kann je nach Prozesstechnologie im Stoff der Vorlagenbütte zur Nachflotation (Papierfabrik A) oder im DIP (Papierfabriken B und C) nachgewiesen werden.

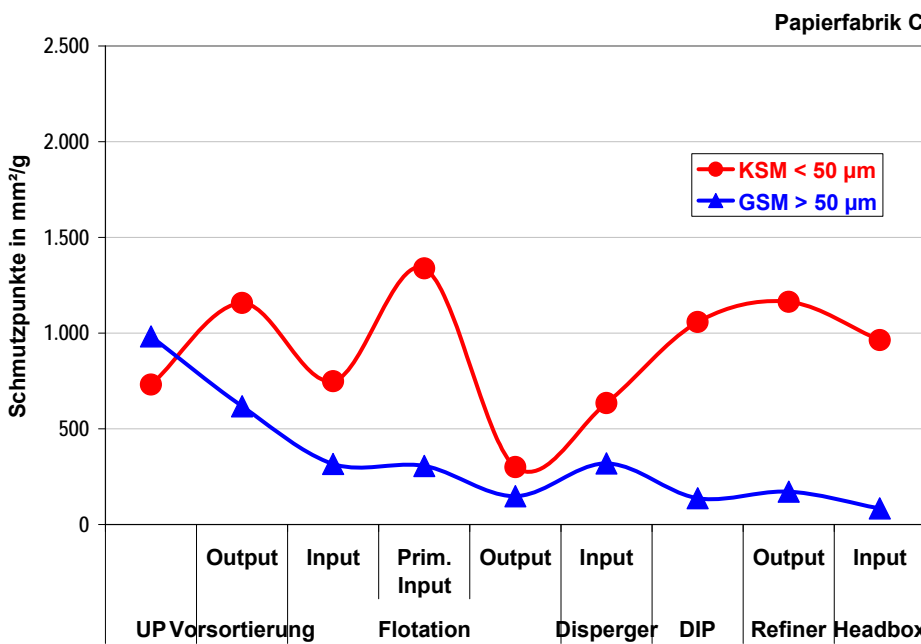
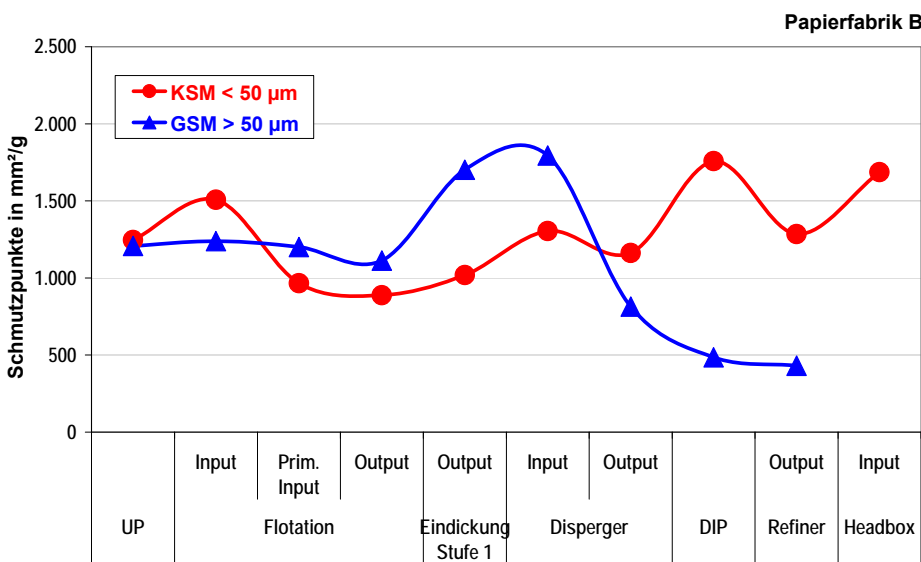
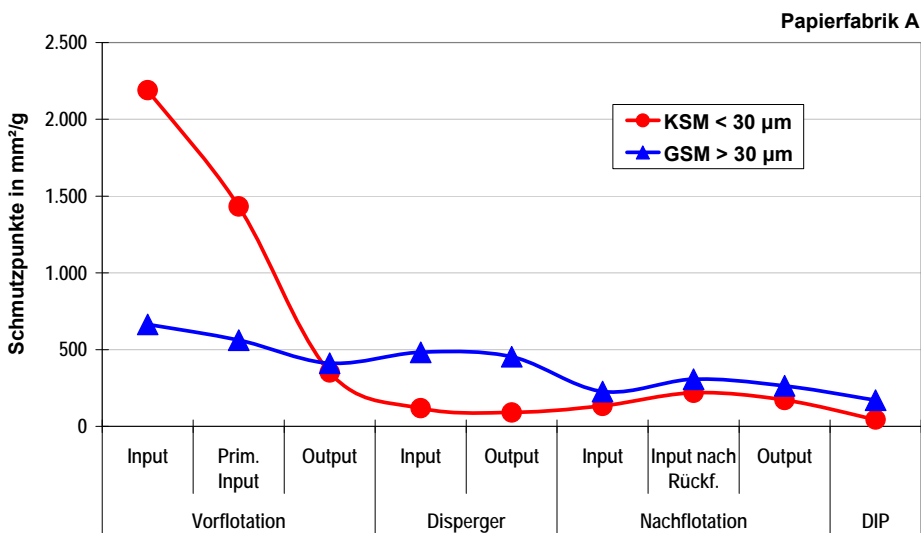
Die Auswertung der einzelnen Größenklassen zeigt sehr deutlich die Zerkleinerung der großen Druckfarbenpartikel in allen drei Papierfabriken. Nur bei Papierfabrik A können die zerkleinerten Druckfarbenpartikel auch effektiv ausgetragen werden. Bei den beiden anderen Papierfabriken findet lediglich eine Zerkleinerung der großen Druckfarbenpartikel statt.

In den Papierfabriken A und B wird ein Altpapier mit vergleichbarem Weißgrad von 50 % eingesetzt. In Papierfabrik A kann der Weißgrad durch die effiziente Druckfarbenentfernung auf nahezu 70 % gesteigert werden, während bei Papierfabrik B nur eine geringe Verbesserung möglich ist. Um einen Weißgrad von ca. 64 % bei schlechter Druckfarbenentfernung zu erreichen, wird in Papierfabrik C ein optisch hochwertiges Altpapier eingesetzt. Vergleichbare Grundtendenzen sind beim K₇₀₀-Wert feststellbar.

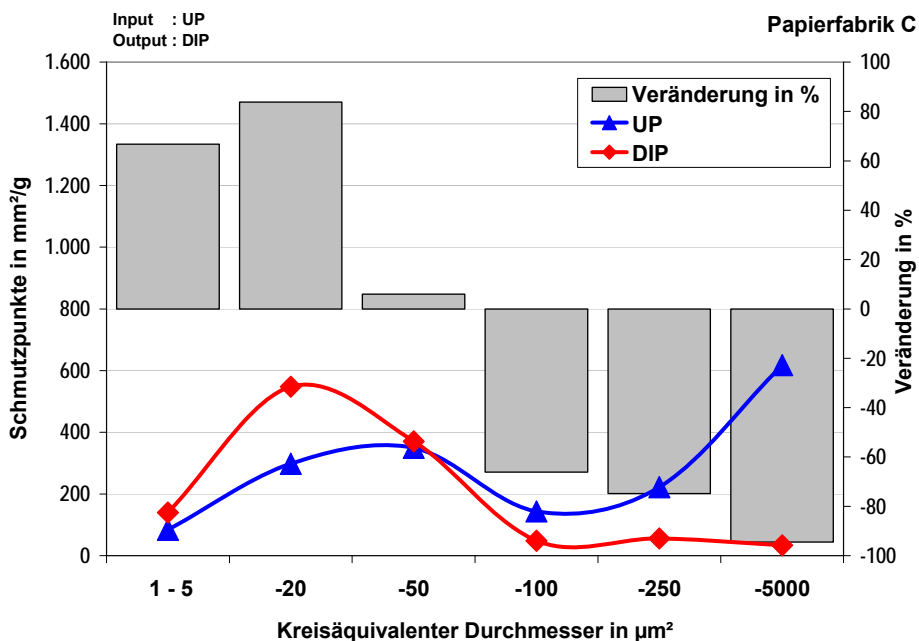
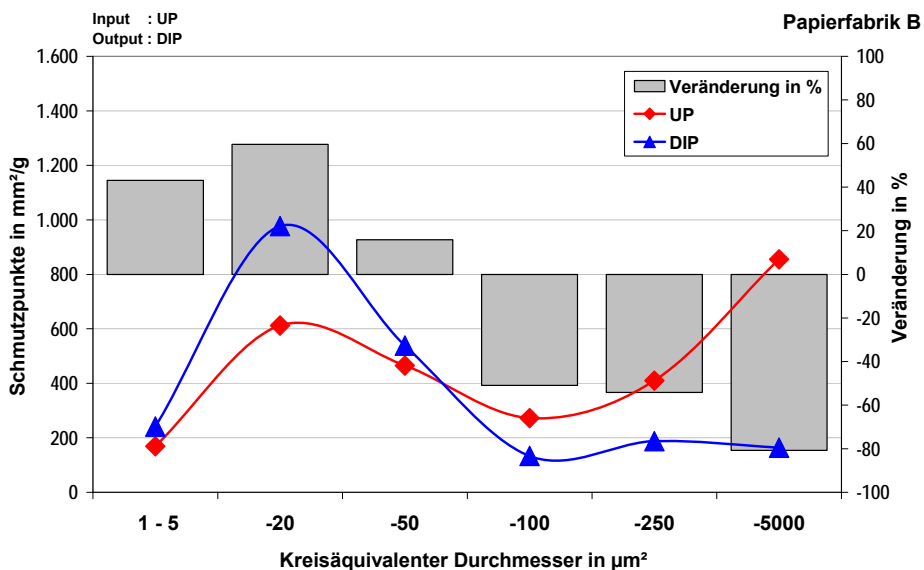
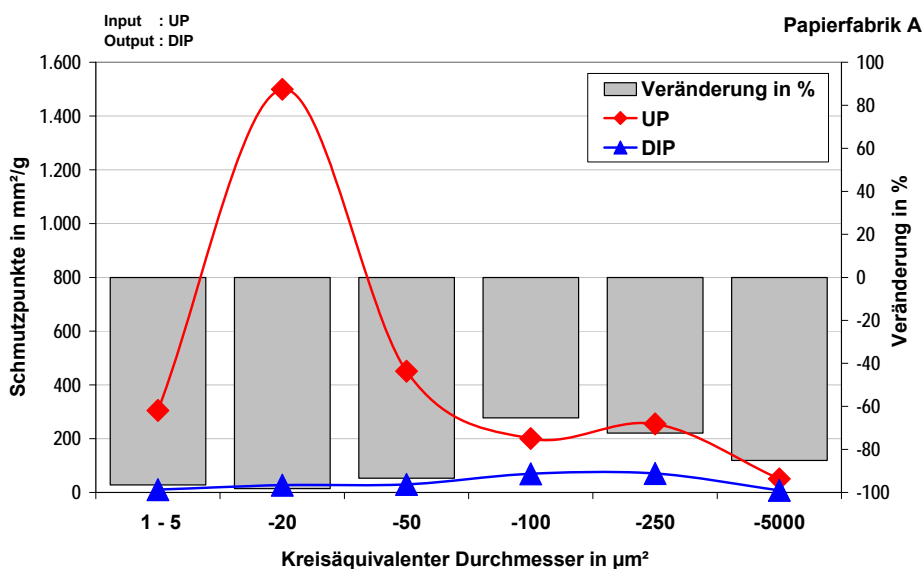
Gesamtfläche der Druckfarbenpartikel 1 – 5000 µm im Verlauf der Prozessstufen



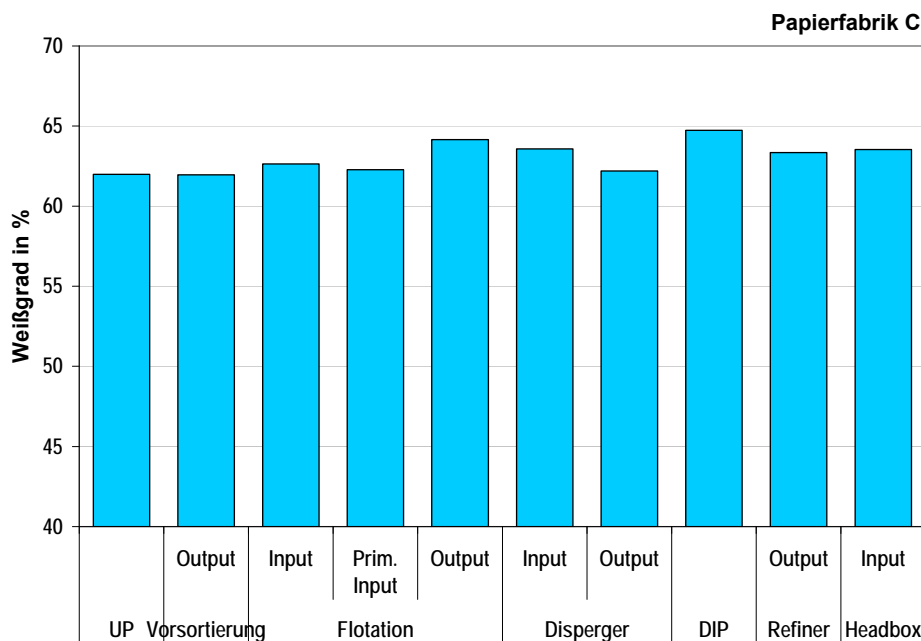
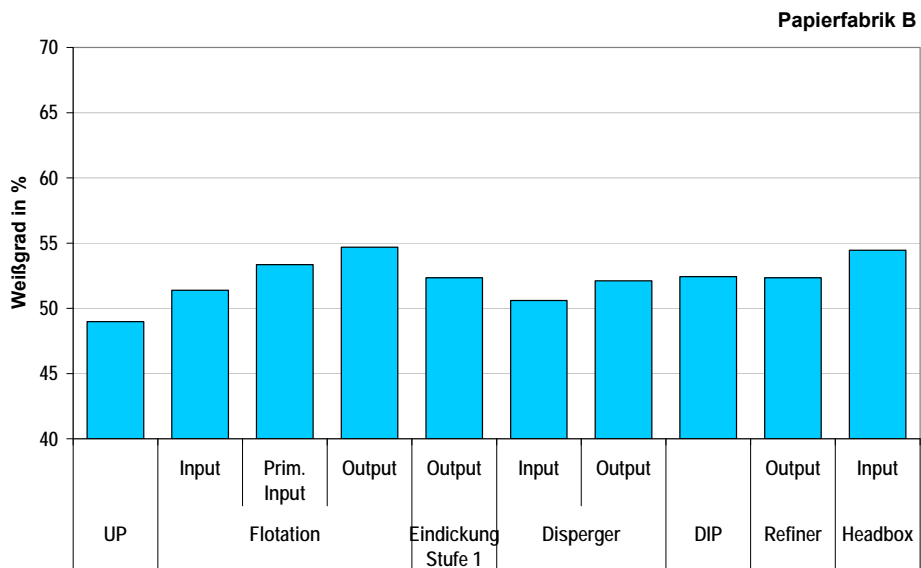
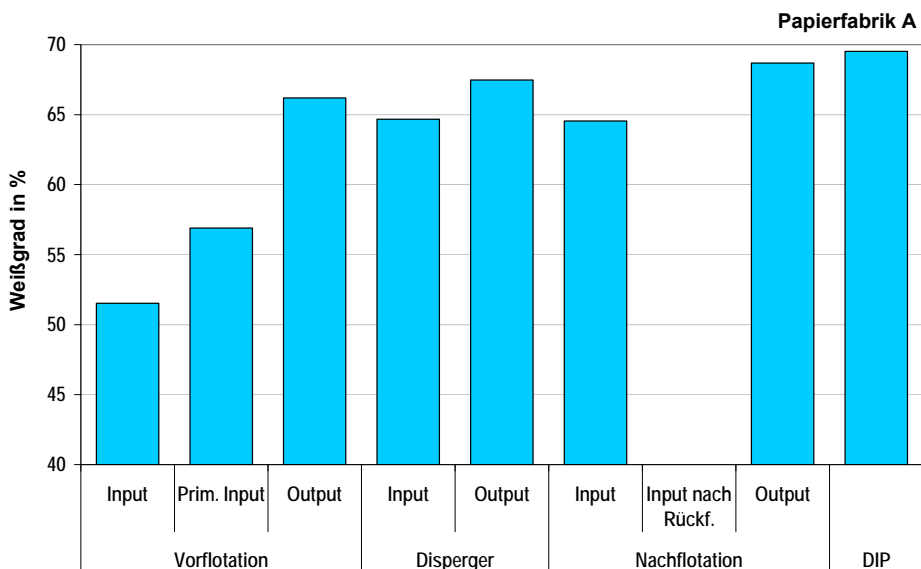
Fläche der Druckfarbenpartikel im Verlauf der Prozessstufen



Größenverteilung



Weißgrad im Verlauf der Prozessstufen

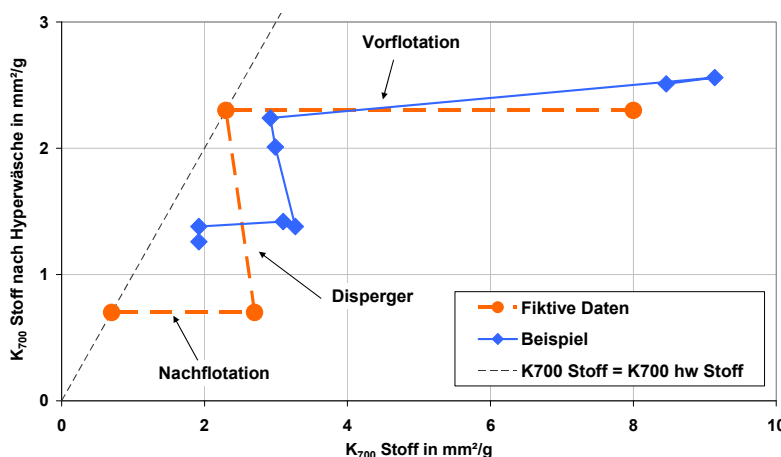


7.3 Effizienz der Prozessstufen zur Druckfarbenablösung und zum Druckfarbenaustrag

Effizienz der Prozessstufen zur Druckfarbenablösung und zum Druckfarbenaustrag

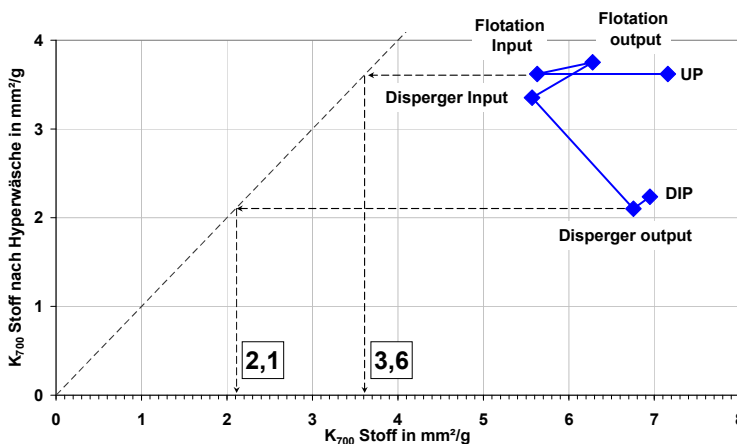
Die Effizienz der Prozessstufen auf Druckfarbenablösung und Druckfarbenaustrag kann aus dem Verlauf des Absorptionskoeffizienten K_{700} der Stoffe und der Stoffe nach einer Hyperwäsche aufgezeigt werden. Dieser Verlauf liefert Informationen über die Druckfarbenablösung durch die Dispergierung und den Austrag abgelöster Druckfarbenpartikel durch die Flotation.

Ein Austrag aller abgelösten Druckfarbenpartikel durch die Flotation bedeutet, dass der Wert des Gutstoffs der Flotation auf der Linie $K_{700}hw \text{ Stoff} = K_{700} \text{ Stoff}$ liegt. Eine Druckfarbenablösung durch die Dispergierung zeigt sich in einer Verringerung des K-Wertes des gewaschenen Stoffs ($K_{700}hw \text{ Stoff}$). Eine Fragmentierung im Disperger führt zu einem Anstieg des K-Wertes im Stoff ($K_{700} \text{ Stoff}$). Dies wird nachfolgend an einem Beispiel gezeigt.



Prognose theoretisch erreichbarer K_{700} -Werte

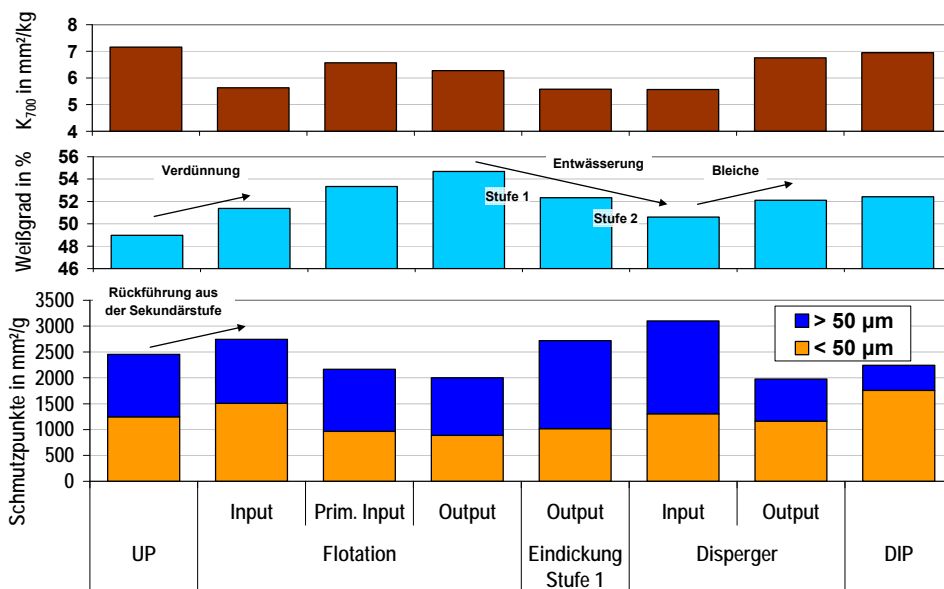
Anhand dieser Graphik kann darüber hinaus der K_{700} -Wert prognostiziert werden, wenn alle abgelösten Druckfarbenpartikel ausgetragen werden. Durch optimalen Druckfarbenaustrag in der Flotation ist bei diesem Beispiel ein K-Wert von 3,6 erreichbar. Eine Verbesserung auf 2,1 wäre dann möglich, wenn die im Disperger abgelösten Druckfarbenpartikel durch eine nachfolgende Flotation ausgetragen werden könnten.



7.4 Bewertung der Druckfarbenentfernung (Beispiel)

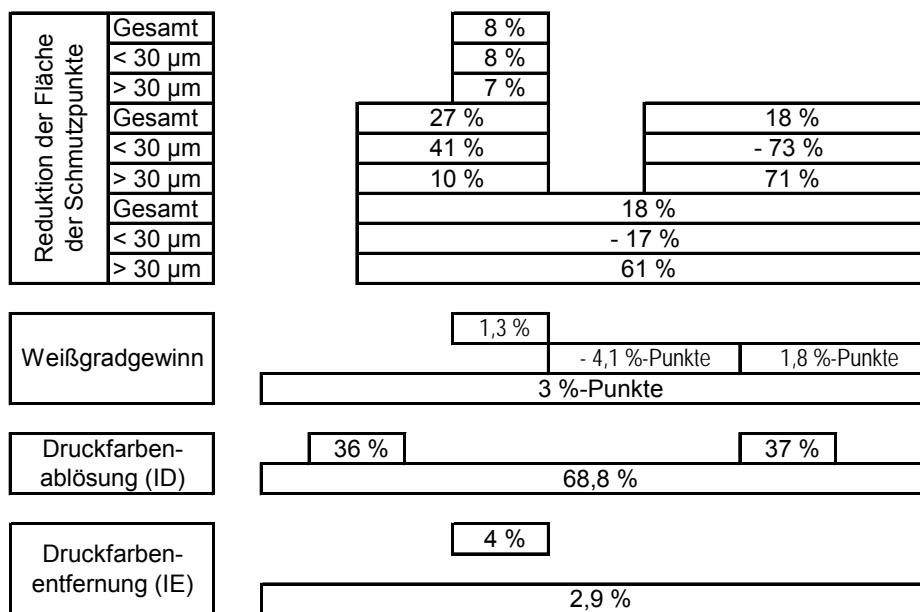
Übersicht

Die Bewertung der Druckfarbenablösung und -entfernung wird beispielhaft an den Ergebnissen der Papierfabrik B durchgeführt. Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen Werte über den Prozessverlauf.



Folgende Tabelle zeigt die Veränderungen in numerischer Darstellung.

UP	Vorflotation			Eind. Stufe 1	Disperger		DIP
	Input	Prim. Input	Output	Output	Input	Output	



**Schmutzpunkt-
fläche**

In der Flotation werden Druckfarbenpartikel nur unzureichend entfernt. Dabei bewirkt die Rückführung aus der Sekundärstufe eine Erhöhung der Druckfarbenpartikelmenge vor dem Einlauf Flotation.

Durch die zweistufige Entwässerung werden Füllstoffe entzogen, so dass die Druckfarbenmenge bezogen auf den reduzierten Feststoffgehalt erhöht wird.

Mehr als die Hälfte der großen Druckfarbenpartikel wird durch Dispergierung und Bleiche fragmentiert. Die Erhöhung des damit verbundenen Anteils an kleinen Druckfarbenpartikeln kann nach Beendigung des Bleichvorgangs im Fertigstoff DIP nachgewiesen werden.

Weißgrad

Die Verdünnung vor der Flotation hat einen Füllstoffeintrag und damit einen Weißgradanstieg zur Folge. In der Flotation beträgt der Weißgradgewinn aufgrund der geringen Druckfarbenentfernung nur 1,3 %-Punkte.

Durch die nachfolgende zweistufige Entwässerung und dem dadurch bedingten Füllstoffentzug fällt der Weißgrad um 4,1 %-Punkte ab. Die Bleiche bewirkt einen Weißgradgewinn von insgesamt 1,8 %-Punkten.

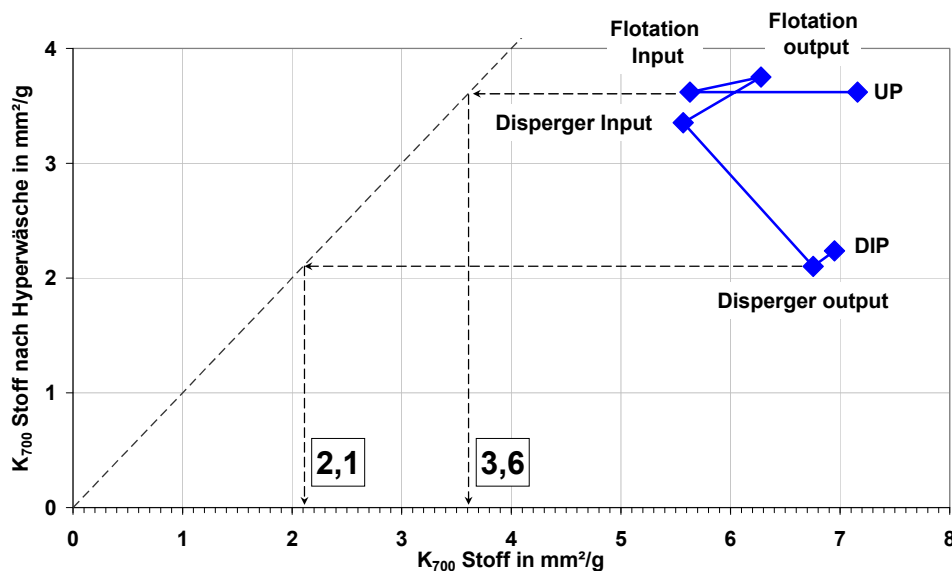
Absorptionskoeffizient K_{700}

Anhand der Absorptionskoeffizienten von unbehandelten und gewaschenen Stoffen ist zu sehen, dass die Druckfarbenablösung vor der Flotation mit 36 % relativ gering ist (Bewertung anhand ID). In der Flotation können jedoch nur 4 % der Druckfarbenpartikel ausgetragen werden (Bewertung anhand IE). Ein hoher Anteil der abgelösten Druckfarbenpartikel wird durch die Flotation nicht entfernt.

Im Filtrat der nachfolgenden Schneckenpresse kann ein K_{700} -Wert von 9,4 festgestellt werden. Dieser hohe Wert deutet auf einen hohen Anteil an Druckfarbenpartikeln im Filtrat hin, der somit dem Stoff entzogen wird und zu einer Verringerung des K_{700} -Wertes führt. Im Disperger findet mit 37 % noch einmal eine nennenswerte Druckfarbenablösung statt.

**K_{700} Stoff vs.
 K_{700} hw Stoff**

Die niedrige Druckfarbenablösung von 69 % und die unzureichende Druckfarbenentfernung von 3 % spiegeln sich auch in folgender Abbildung deutlich wieder. Die Winkelhalbierende wird in dieser Papierfabrik bei weitem nicht erreicht.



Anhand der graphischen Auswertung ist zu entnehmen, dass bei optimalem Druckfarbenaustrag in der Flotation ein K_{700} -Wert von 3,6 erreicht werden kann. Wenn zusätzlich die im Disperger abgelösten Druckfarbenpartikel entfernt werden, ist sogar ein K_{700} -Wert von 2,1 möglich.

Fazit

Im Gesamtergebnis ist der Austrag an Druckfarben in Papierfabrik B unzureichend, ebenso die Druckfarbenablösung. Die nicht entfernten Druckfarbenpartikel reichern sich im Prozesswasser an. Der Einfluss der Fragmentierung auf den Weißgrad wird über den Einsatz der Bleichchemikalien etwas kompensiert. Der dadurch mögliche Weißgradgewinn wird allerdings wegen der erhöhten Menge an Druckfarbenpartikeln beeinträchtigt. Der geringe Weißgradgewinn kann damit weniger der Druckfarbenentfernung als vielmehr dem Bleichchemikalieneinsatz zugeschrieben werden.

7.5 Zusammenstellung der wesentlichen Tools (Druckfarbenpartikel, Weißgrad, K_{700}) zur Bewertung der Druckfarbenentfernung

Übersicht

Mit den unterschiedlichen Tools und Bewertungsgrößen können verschiedene Effekte bei der Druckfarbenentfernung bewertet werden. Ein Bewertungskriterium allein erfüllt nicht die Anforderungen an eine Gesamtbewertung. Nur in der geeigneten Auswahl der Tools und Bewertungskriterien lassen sich Schwachstellen aufzeigen und Optimierungskonzepte erstellen. Folgende Tabelle zeigt die Möglichkeiten der einzelnen Bewertungsgrößen in einer Übersicht.

	Fläche der Druckfarbenpartikel	Weißgrad	K_{700} -Wert	Anmerkung
Druckfarbengehalt	+			
Entfernung aller Druckfarbenpartikel 1 – 5000 μm	+	0		Füllstoffgehalt und Bleiche beeinflussen Weißgrad
Entfernung kleiner Druckfarbenpartikel < 50 μm	+		+	
Bleiche	-	+	-	
Bilanzierung	+	-	-	
Bewertung Ablösung			+	Messung von attached und free Ink erforderlich
Bewertung Austrag	+		+	
Potenzial Austrag			+	Messung von attached und free Ink erforderlich
Effekte durch Veränderung des Füllstoffgehaltes	+	+	+	Siehe auch Bilanzierung

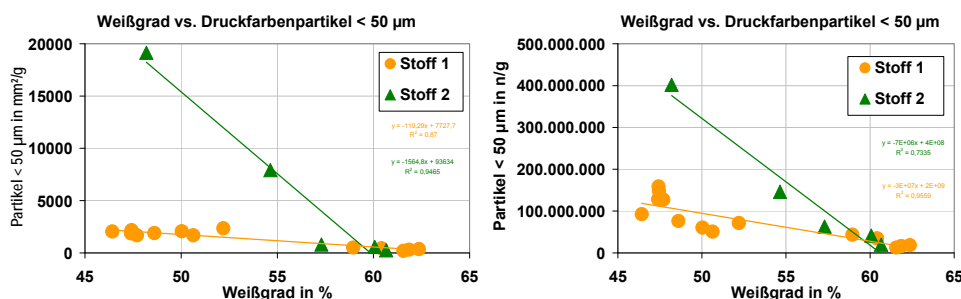
8 Bilanzierbarkeit optischer Kennwerte

Einleitung

Anhand der Messergebnisse, die im Labor und bei Papierfabriken erzielt wurden, konnten Zusammenhänge zwischen den Schmutzpunkten und den optischen Eigenschaften überprüft werden. Hierzu wurden die Messungen der kleinen und großen Schmutzpunkte den Messungen des Weißgrads sowie des Absorptionskoeffizienten bei 700 nm (K_{700}) an unterschiedlichen Stoffklassen (undeinkte, flotierte/deinkte Stoffe) gegenübergestellt.

Auswertung der Laborversuche

Im Rahmen von Laboruntersuchungen wurden sowohl die kleinen Schmutzpunkte als auch der Weißgrad messtechnisch erfasst. Folgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung dieser beiden Messgrößen.



Bei dieser Auswertung wurden unter Stoff 1 alle undeinkten und deinkten Stoffe zusammengefasst, die aus einer Mischung mit 30 % Zeitungsdruckpapier und 70 % Zeitschriftenpapier hergestellt wurden. Bei Stoff 2 wurde eine Mischung aus 50 % Zeitungsdruckpapier und 50 % Zeitschriftenpapier gemischt und aufbereitet.

Auswertung der Prozessanalysen

Für eine umfassende Überprüfung der Bilanzierbarkeit optischer Kenngrößen wurden die Daten der drei untersuchten Papierfabriken und einer weiteren recherchierten Deinkinganlage verwendet. Folgende Korrelationen wurden überprüft:

- Weißgrad – Fläche
- Weißgrad – Anzahl
- K_{700} – Fläche
- K_{700} – Anzahl

Dabei wurde einerseits zwischen folgenden Stoffen unterschieden:

- Undeinkte Stoffe
- Flotierte Stoffe (Stoffe, die mindestens 1 Flotation durchlaufen haben)
- Flotata / Rejekte

Andererseits wurden bei den Auswertungen folgende Größenverteilungen berücksichtigt:

- $< 50 \mu\text{m}$ (kleine Schmutzpunkte)
- $< 250 \mu\text{m}$ (Schmutzpunkte unterhalb der deutlichen Sichtbarkeit)
- $< 5000 \mu\text{m}$ (alle Schmutzpunkte, KSM + GSM)

-
- > 50 μm (große Schmutzpunkte)
 - > 250 μm (große sichtbare Schmutzpunkte)
-

Ergebnis

Im Rahmen der Arbeit wurden Zusammenhänge zwischen den Schmutzpunkten und den optischen Eigenschaften überprüft. Dabei erhöht sich der Weißgrad linear mit einer Reduzierung der Schmutzpunkte. Die gleiche Beziehung wurde zwischen den Schmutzpunkten und dem Absorptionskoeffizient festgestellt.

Es hat sich gezeigt, dass neben den kleinen Druckfarbenpartikeln < 50 μm auch die großen Druckfarbenpartikel > 50 μm einen Einfluss auf die integralen optischen Eigenschaften Weißgrad und K_{700} -Wert haben. Daher wird empfohlen, die Berechnung der optischen Eigenschaften auf Basis des gesamten Größenspektrums vorzunehmen.

Bei der Darstellung der Optimierungskonzepte werden die erarbeiteten Korrelationen zur Prognose des Weißgrads eingesetzt.

Die messtechnische Bewertung des Hintergrundes, bei dem die Helligkeit der Papierfasern und der Füllstoffe erfasst werden, steht aus. Die im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojektes erarbeiteten linearen Korrelationen gelten nur für jeweils eine Papierfabrik und ein einheitliches Stoffsystem. Zur Ermittlung von allgemein gültigen Abhängigkeiten, bei denen unterschiedliche Stoffsysteme miteinander verglichen werden können, sind weitere Forschungsarbeiten notwendig.

9 Simulationsmodelle

Einführung

Anhand der bei den Prozessanalysen ermittelten Daten wurden für die erfassten Papierfabriken Simulationsmodelle erstellt. Um die Rechenzeiten zu optimieren, mussten die Modelle - unter Beachtung der erfassten Datenmenge - einfach strukturiert werden. Aus diesem Grund wurden teilweise Büten, Behälter und andere Aggregate zusammengefasst, die keinen Einfluss auf die Stofftrennungsvorgänge hatten. Zur vollständigen Schließung der Wasser- und Stoffströme wurde die Papiermaschine mit sehr einfachen Trennprozessen modelliert. Die Zugabe von Frischwasser und die Kreislaufwasserführung wurden in den Simulationsmodellen ebenfalls berücksichtigt.

Die Modellierung sämtlicher Trennaggregate (Flotationszellen, Sortieraggregate) erfolgte nach den in [7, 8, 9] dargestellten Formeln. Hierzu konnten zum Teil vorhandene Standardobjekte eingesetzt werden. Darüber hinaus waren zusätzliche Anpassungs- und Programmierarbeiten notwendig. Diese Arbeiten umfassten folgende Punkte:

- Erweiterung der modellierbaren Parameter
- Erhebliche Beschleunigung der Berechnungszeiten
- Erhebliche Verbesserung der Parametrierung von Trennaggregaten
- Verbesserung der Anzeige von simulierten Stromgrößen

Erweiterung der modellierbaren Parameter

Zur Modellierung der Altpapierstoffaufbereitungsanlagen werden die Stoffströme in unterschiedliche Komponenten aufgeteilt. Dabei werden Wasser und mehrere Faser- und Füllstofffraktionen sowie unterschiedliche Komponenten an Verunreinigungen berücksichtigt. Zu den Verunreinigungen zählen papierfremde Bestandteile, Sand, Stickys und Druckfarbenpartikel.

Da die Beladung an Druckfarbenpartikeln und an Stickys in n/g bzw. mm^2/g definiert ist, musste in einem ersten Schritt eine Umrechnung in eine bilanzierbare Größe festgelegt werden. Dies geschieht mit Hilfe der Fracht. Zur Realisierung dieser Umrechnung wurden deshalb die für die Stromdefinition notwendigen Blöcke in IDEAS so erweitert, dass nach Abschluss der Forschungsarbeiten insgesamt 36 unterschiedliche Stoffparameter modelliert werden können.

Damit können nicht nur unterschiedliche Größenklassen an Druckfarbenpartikeln, sondern auch unterschiedliche Größenklassen an Stickys und Sandpartikeln sowie auch Faserstofffraktionen in den Simulationsmodellen bilanziert werden. Durch die oben beschriebene Umrechnung ist eine Modellierung unterschiedlicher Einheiten möglich (z.B. n/g , mm^2/g , n/m^2 , mm^2/m^2 , %, g/kg u.a.)

Optimierter Sorter-Block

Durch entsprechende Programmierarbeiten wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein neuer Sorter-Block erstellt, der folgende Eigenschaften aufweist:

- 1 Eingang, 2 Ausgänge
- 36 frei wählbare Parameter
- Dialogfeld zur Einstellung des Sorter-Blocks

-
- Dialogfeld zur Einstellung der Simulationsparameter
 - Dialogfeld mit Anzeige der Parameter der ein- und ausgehenden Stoffströme
 - Dialogfeld mit weiteren Angaben zur Stofftrennung im Sorter-Block
 - Settingsmodus, Simulationsmodus
 - Verbesserte Nutzerfreundlichkeit

War die Fehleranfälligkeit bei der alten Berechnungsmethode noch eines der Hauptprobleme, so zeigten die durchgeführten Tests, dass der neue Sorter in allen Situationen richtige Werte liefert. Während es früher immer wieder zu falschen Ergebnissen kam, die scheinbar keinen erkennbaren Grund hatten und auf die Eigenarten der Programmierung zurückzuführen waren, arbeitet der neue Sorter-Block nun fehlerfrei.

Vergleiche mit dem alten Sorter-Block zeigten, dass Simulationsrechnungen nun wesentlich schneller ausgeführt werden können. So verringerte sich bei Nutzung eines Sorter-Blockes z.B. die Zeit der Anlaufphase zu einem stationären Zustand von sechs auf weniger als eine Sekunde. Dies ist vor allem bei größeren Modellen mit zahlreichen Rückführungen im Prozessverlauf von Bedeutung, da hier in der Vergangenheit bei einem Neustart der Simulation oftmals mehrere Minuten vergingen, bis das Modell einen statischen Zustand erreicht hat.

Durch die Neuprogrammierung des Sorter-Blockes konnte der Speicherbedarf für einen Block von 1,5 MB auf 0,06 MB verringert werden. Damit nehmen bei einer Modellerstellung nun nicht mehr die individuell erstellten Sorter-Blöcke, sondern die in IDEAS enthaltenen Standardobjekte den meisten Platz ein. So konnte mit dem neuen Sorter-Block die Modellgröße bei Papierfabrik A von 15,2 MB auf nur 6 MB verringert werden.

Simulationsmodelle für drei Papierfabriken

Auf der Basis des neuen Sorter-Blocks und zusätzlicher Weiterentwicklungen bei den IDEAS-Blöcken konnten für die drei untersuchten Papierfabriken vollständige Simulationsmodelle für die Stoffaufbereitungsanlagen einschließlich der Entwässerung in der Papiermaschine und Rückführung des Kreislaufwassers erarbeitet werden.

10 Optimierungskonzepte

Einleitung

Anhand der Untersuchungsergebnisse und der daraus abgeleiteten Auswertungen konnten Optimierungskonzepte für alle beteiligten Papierfabriken erarbeitet werden. Für die drei untersuchten Deinkinganlagen wurden konkrete Maßnahmenpläne zur wirtschaftlicheren Gestaltung der Aufbereitungsprozesse, zur Optimierung des Chemikalien- und Altpapiereinsatzes sowie zu einem verbesserten Betrieb der Anlage zusammengestellt. Die Optimierungskonzepte wurden den Papierfabriken zur Verfügung gestellt. Im Folgenden soll beispielhaft das Optimierungskonzept für Papierfabrik B gezeigt werden, deren Bewertung bereits in Abschnitt 7.4 dargestellt worden ist.

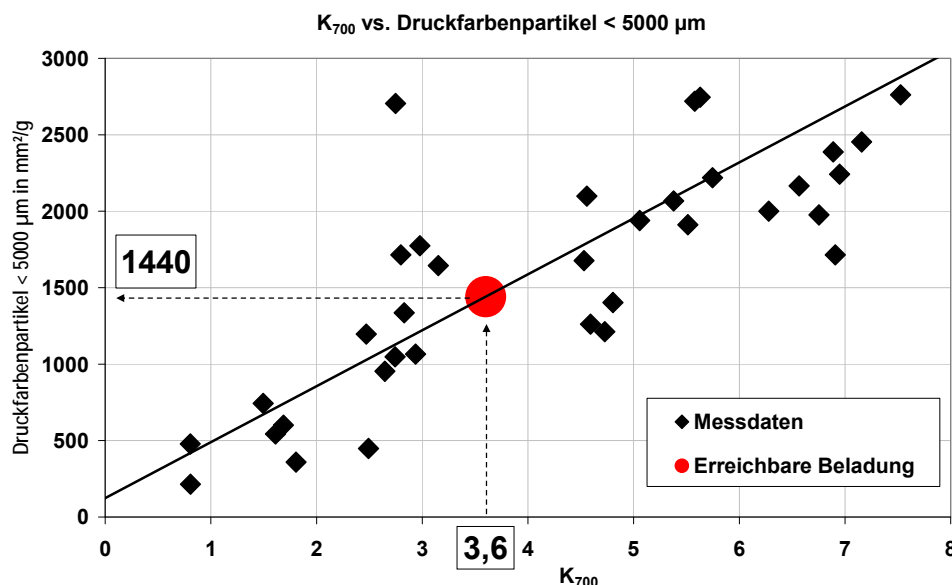
Konzept

Im Rahmen der Schwachstellenanalyse wurden folgende 2 Schwachstellen in Papierfabrik B identifiziert:

- Flotationsanlage
- Rückführung von Druckfarbenpartikeln über die Sekundärstufe

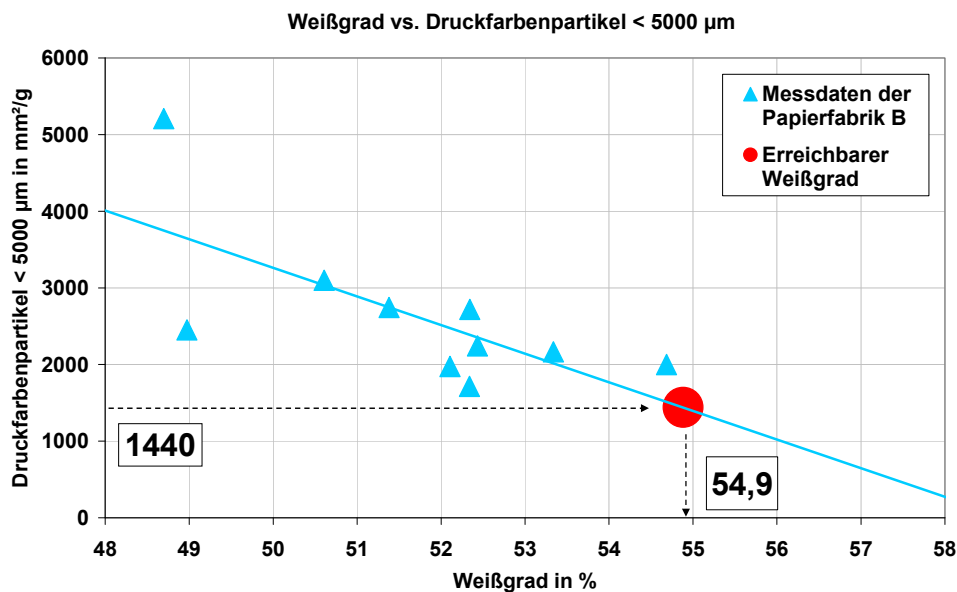
Um die Effizienz der Flotationsanlage zu verbessern, wird empfohlen, die Stoffdichte in den Zulauf der Primärzellen auf 1 % und in die Sekundärzellen auf 0,6 % zu reduzieren. Außerdem sollte der Rejektabzug in den Primärzellen auf 20 % erhöht und in den Sekundärzellen auf 50 verringert werden.

Anhand der hypergewaschenen Stoffe konnte für diese Papierfabrik B ein theoretisch erreichbarer K_{700} -Wert von 3,6 berechnet werden. Unter Berücksichtigung der erstellten Korrelationen kann damit eine Beladung an Druckfarbenpartikeln von 1440 mm^2/g berechnet werden.

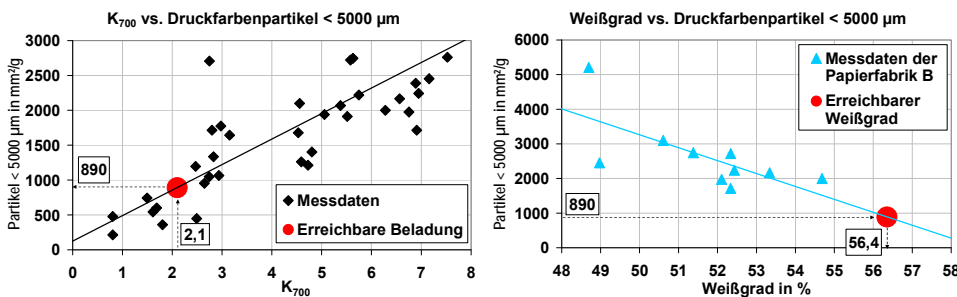


Prognose des Weißgrads

Zur Prognose des daraus resultierenden Weißgrads können die Messdaten der Papierfabrik B und die sich daraus ergebende Korrelation mit der Druckfarbenpartikelfläche verwendet werden. Mit dem zum Einsatz kommenden Altpapier kann somit ein Endweißgrad von 54,9 % ohne zusätzliche Bleiche abgeschätzt werden. Das Potenzial liegt also deutlich über dem erzielten Weißgrad von 52,5 %. Es wird davon ausgegangen, dass auf den Einsatz von Bleichchemikalien verzichtet werden kann, was mit einer deutlichen Kostenreduzierung verbunden ist.



Eine weitere Schwachstelle ist die Druckfarbenablösung, die bei der Zerkleinerung verbessert werden kann. Dies kann durch Anpassung der Bedingungen, z.B. Stoffdichte, Deinkingchemikalien u.a., erfolgen. Dann besteht ein Weißgradpotenzial von 56,4 % bei einer Druckfarbenpartikelbeladung von 890 mm²/g.



Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Lutz Hamann
Tel. 03529 / 551-657
Lutz.hamann@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS
Pirnaer Straße 37
01809 Heidenau
Tel. 03529 / 551-657
Fax 03529 / 551-899

Literaturverzeichnis

- 1 KLEIN R., SCHULZE U. u. E. HANECKER
Stand und Entwicklungstrend der messtechnischen Bewertung von optischen Inhomogenitäten als Grundlage einer Prozessbewertung und -optimierung
Wochenblatt für Papierfabrikation 134, 350 - 358 (2006), Nr. 7
- 2 RENNER K., PUTZ H.J. u. L. GÖTTSCHING
Druckfarbenpartikelbilanzierung in industriellen Deinkinganlagen
Das Papier, 49, V48-V56 (1995) Nr. 10A
- 3 KLEIN R.; SCHULZE U u. HANECKER E.
Stand und Entwicklungstrends der messtechnischen Bewertung von optischen Inhomogenitäten als Grundlage einer Prozessbeurteilung und –optimierung
in: 11. PTS-CTP-Deinking-Symposium; G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.)
München: PTS 2004
PTS Symposium DE 404
- 4 KLEIN, R.; GROßMANN, H. u. C. MRAZ
Bewertung optischer Inhomogenitäten (Schmutzpunkte) in Altpapierstoffen mit einem Scannersystem
22. Internationales DITP - Jahressymposium; Bled; 1995
- 5 HAMANN L. und. J. KAPPEN
Systematische, vollständige und effektive Optimierung von Stoffaufbereitungsanlagen in Wellpappenrohpaper und Karton herstellenden Papierfabriken
Heidenau: Papiertechnische Stiftung (PTS) 2006
PTS-Abschlussbericht BMWi 1207-03
www.ptspaper.de
- 6 MAHMOOD K.
Development of a methology for standarized evaluation and optimization of stock preparation in paper mills regarding the optical characteristics, Master Thesis
Duisburg: Universität Duisburg-Essen 2006
- 7 BIENERT CH.
Dynamische Prozesssimulation als Mittel zur Optimierung der Deinkingtechnologie bei der Herstellung von Zeitungsdruckpapier in Altpapier verarbeitenden Papierfabriken
München: Papiertechnische Stiftung (PTS) 2002
PTS-Abschlussbericht AiF 12169

- 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) 2004
PTS-Abschlussbericht AiF 13355
- 9 NELSON G.L.:
The screening quotient: a better index for screening performance,
TAPPI Journal Vol.64, Nr. 5 S.133-134, 1981